

## **Dissertação de Mestrado**

Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil:  
uma análise de insumo-produto

Marcelo Pereira da Cunha

Campinas, 28 de fevereiro de 2005

Pós-Graduação em Matemática Aplicada

# Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil: uma análise de insumo-produto

Este exemplar corresponde à redação final da dissertação devidamente corrigida e defendida por Marcelo Pereira da Cunha e aprovada pela comissão julgadora.

Campinas, 28 de março de 2005.



Prof. Dr. José Antonio Scaramucci  
Orientador

Banca examinadora:

1. José Antonio Scaramucci
2. Sérgio Valdir Bajay
3. Joaquim José Martins Guilhoto

Dissertação apresentada ao **Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica**, Unicamp, como requisito parcial à obtenção do Título de MESTRE em Matemática Aplicada.

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DO IMECC DA UNICAMP**

Cunha, Marcelo Pereira da

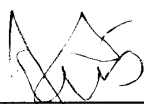
C914i Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil: uma análise de insumo-produto / Marcelo Pereira da Cunha -- Campinas, [S.P. :s.n.], 2005.

Orientador : José Antonio Scaramucci

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica.

1. Análise de insumo-produto. 2. Modelos lineares. 3. Geração de energia. 4. Álcool como combustível – Brasil. 5. Cana-de-açúcar. I. Scaramucci, José Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica. III. Título.

**Dissertação de Mestrado defendida em 28 de Fevereiro de 2005 e aprovada pela  
Banca Examinadora composta pelos Profs. Drs.**



---

**Prof (a). Dr (a). JOSÉ ANTONIO SCARAMUCCI**



---

**Prof (a). Dr (a). SÉRGIO VALDIR BAJAY**



---

**Prof (a). Dr (a). JOAQUIM JOSÉ MARTINS GUILHOTO**

Dedico este trabalho aos meus filhos,  
Sementinhas que tanto amo, e que sempre me ensinam.

*“Quando mostramos que somos diferentes  
deixamos o mundo do outro mais colorido”.*

Giovana Teresa Napolitano da Cunha (com 6 anos)

*“Uma casa pode ser apenas uma moradia,  
mas com pessoas e animais transforma-se num lar”.*

João Vinícius Napolitano da Cunha (com 9 anos)

## AGRADECIMENTOS

Em todo este caminho, o maior presente foi compartilhar com todos os que se dispuseram a me ajudar, à sua maneira. Na verdade, não é justo agradecer, porque a palavra obrigado não possui espaço em qualquer relação em que resida o amor.

À Sílvia, que sempre esteve presente participando de cada sonho, sempre de forma incondicional;

Aos meus filhos, que só me enchem de energia;

À minha família: minhas irmãs Belinda, Belisa e Fernanda, e minha Mãe: com vocês aprendi que devemos agradecer ao que foi feito, e não apenas criticar o que não foi;

Aos meus avós maternos, que muitas vezes fizeram o papel de pai;

Ao amigo Marinho, esteja onde estiver, que soube me instigar com a frase: *“Cuidado com o que você quer, porque você pode conseguir”*;

Ao meu orientador, professor José Antonio Scaramucci: pela paciência e pelo entusiasmo incessantes; eu tenho consciência de como cheguei, e de como estou;

Ao professor Joaquim José Martins Guilhoto, pelo exemplo de profissionalismo, e por todos os ensinamentos;

Ao professor Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho, que me acolheu tão bem no início destes estudos;

Ao amigo Orlando Bordoni: eu não teria concluído este caminho sem a tua ajuda, você sabe;

Aos amigos especiais e eternos que fiz na ESALQ, Ronaldo e Piedade: ao saberem ouvir, vocês me ajudaram a seguir;

Especialmente ao professor e amigo Hamilton Luiz Guidorizzi, que em tão pouco tempo interpretou o caminho que eu queria percorrer;

Aos Professores do IMECC, em especial, à professora Vera, à professora Márcia e ao professor Clóvis Perin, que representam tão bem o papel dos verdadeiros professores;

Aos colegas do IMECC: Roberto, Regina e Maria José, com os quais compartilhamos nossos questionamentos;

Aos funcionários do IMECC: Cidinha, Tânia, Edinaldo e Fátima: invariavelmente gentis, educados e eficientes;

A todas as pessoas que não foram mencionadas, mas que têm contribuído para que eu continue...

À CAPES, pelos recursos financeiros prestados.

## RESUMO

O objetivo deste estudo é quantificar alguns impactos sobre a economia brasileira decorrentes de uma maior participação do setor sucroalcooleiro na matriz energética, especificamente o aumento da produção de eletricidade a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar (processo de co-geração) e maior oferta de álcool como combustível para a frota leve de veículos. São analisados os impactos sobre a estrutura da economia, emprego, nível de produção e PIB. Para tal, aplicamos o modelo de insumo-produto, utilizando-se uma base de dados estimada referente a 1999, que foi obtida com a desagregação de alguns setores produtivos, como geração de eletricidade, transmissão e distribuição de eletricidade, produção de álcool, produção de gasoálcool e gás natural. Os dados usados foram obtidos das contas nacionais fornecidas pelo IBGE, do Balanço Energético Nacional divulgado pelo Ministério de Minas e Energia e outras fontes diversas. A metodologia empregada parte da descrição tecnológica (*bottom-up*) dos setores produtores de eletricidade – termoelétricas a gás natural, co-geração a partir da biomassa de cana-de-açúcar e hidroeletricidade. Esses novos setores são inseridos na economia brasileira, em determinadas condições de operação, resultando em mudanças econômicas que são então quantificadas.

**Palavras-chave:** Análise de insumo-produto, modelos lineares, modelos economia-energia, geração de eletricidade, etanol combustível, cana-de-açúcar.



## ABSTRACT

This work aims at investigating the impacts on the Brazilian economy of a greater contribution to the energy matrix of the sugarcane agro-industry, more specifically, of an increase on the production of electricity from bagasse (combined heat and power process) and fuel ethanol as well. The effects on the economy structure, employment, production level and GDP are analyzed. An input-output (I-O) model based on an estimated database for 1999 is used for that. I-O tables were obtained by disaggregating some economic sectors – such as electricity generation, transmission and distribution (treated separately), ethanol, gasoline, and natural gas – from the national accounts provided by IBGE, using energy data from MME and other sources of information. The analysis starts from a bottom-up technological description of the sectors producing electricity from natural gas, sugarcane bagasse and hydro energy. These sectors are inserted in the Brazilian economy, under certain operation conditions, resulting in economic changes that are then quantified.

**Keywords:** Input-output analysis, linear models, energy-economy models, electricity generation, fuel ethanol, sugarcane.

## Sumário

<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 – A co-geração e a necessidade de expansão do parque gerador de eletricidade	1
1.2 – Combustíveis líquidos para a frota leve	5
1.3 – A inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética	8
1.4 – Objetivo da dissertação e escopo do trabalho	10
<b>2 – Setor sucroalcooleiro na matriz energética nacional</b>	<b>11</b>
2.1 – Co-geração	12
2.2 – Panorama do setor energético nacional	17
2.2.1 – Panorama do setor elétrico	17
2.2.2 – Co-geração no setor sucroalcooleiro	19
2.2.3 – Panorama do setor de combustíveis líquidos: o papel do álcool combustível	21
2.3 – A inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética	23
2.3.1 – Aspectos ambientais	23
2.3.2 – Aspectos sócio-econômicos	27
2.4 – A proposta da dissertação	28
<b>3 – O modelo de insumo-produto</b>	<b>30</b>
3.1 – Modelo de insumo-produto padrão	30
3.2 – O modelo de insumo-produto adaptado	33
3.2.1 – A produção paralela de bens homogêneos e a co-geração	33
3.2.2 – O modelo com choques na demanda final e na produção	36
<b>4 – Construção da matriz de transações e fechamento do modelo</b>	<b>39</b>
4.1 – Construção da matriz de transações	39
4.2 – Fechamento do modelo	45

<b>5 – Resultados</b>	48
5.1 – Resultados de algumas políticas	48
5.1.1 – Racionamento no setor resto da geração de eletricidade <u>com</u> co-geração	48
5.1.2 – Racionamento no setor resto da geração de eletricidade <u>sem</u> co-geração	50
5.1.3 – Impactos decorrentes do aumento da produção de álcool com co-geração	52
5.1.4 – Impactos decorrentes do aumento da produção de álcool com racionamento no setor resto da geração de eletricidade	55
5.1.5 – Impactos decorrentes da substituição de gasoálcool por álcool	57
5.2 – Multiplicadores de produção, emprego e PIB	60
5.2.1 – Multiplicador de produção	61
5.2.2 – Multiplicador de emprego	63
5.2.3 – Multiplicador de PIB	67
5.3 – Índices de ligação, campo de Influência e setores-chave	69
5.3.1 – Índice de Rasmussen-Hirschmann	69
5.3.2 – Campo de influência	73
 <b>6 – Conclusões</b>	 76
 <b>Referências Bibliográficas</b>	 81
 <b>Apêndices</b>	 86
A.1 – Obtenção da matriz de transações a partir das tabelas de recursos e usos	86
A.2 – Matriz de transações com a inserção da co-geração no setor sucroalcooleiro	88
A.3 – Implementação em MATLAB do algoritmo utilizado no modelo	95

## **1 – Introdução.**

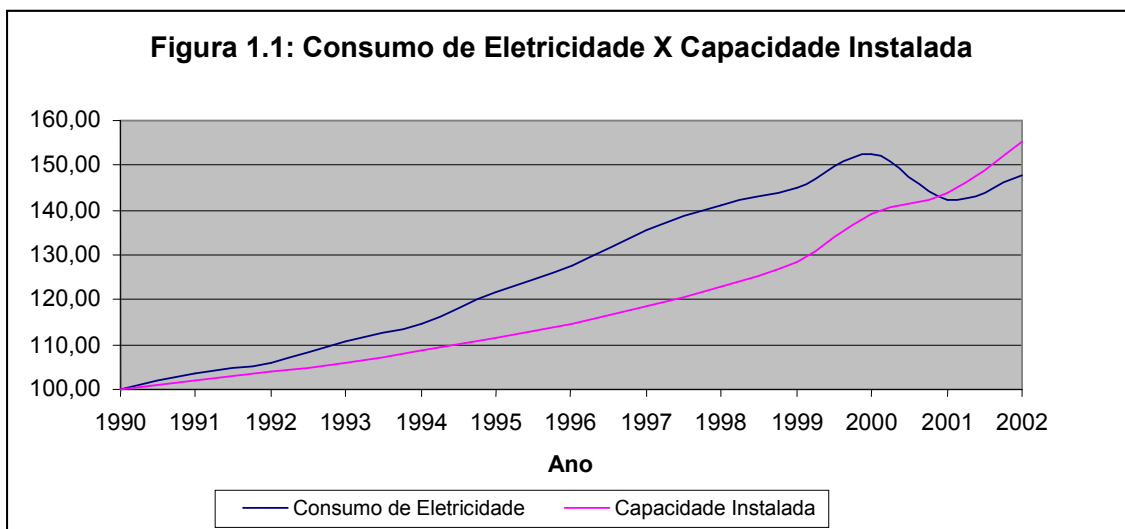
*“A vida se abre toda manhã, quando nós acordamos.”  
(Stephanie Ferguson)*

A partir do início da década de 1990, mudanças significativas tem ocorrido em um dos setores mais importantes da economia nacional: o setor energético. Particularmente, observamos as transformações ocorridas no setor de eletricidade e no setor de combustíveis líquidos para a frota leve.

Quando se tratam de profundas alterações, observamos que os processos que as desencadeiam necessariamente passam pela ruptura do estado de equilíbrio, podemos dizer, por situações de crise. Um dos exemplos destas situações correspondeu, sem dúvida alguma, à crise de oferta de eletricidade em 2001. Como menciona Jannuzzi (2003): *“Na verdade, este é um ótimo momento para aperfeiçoar a regulação do setor e explorar algumas opções para novos desenvolvimentos e incentivos a tecnologias promissoras”*.

### **1.1 – A co-geração e a necessidade de expansão do parque gerador de eletricidade.**

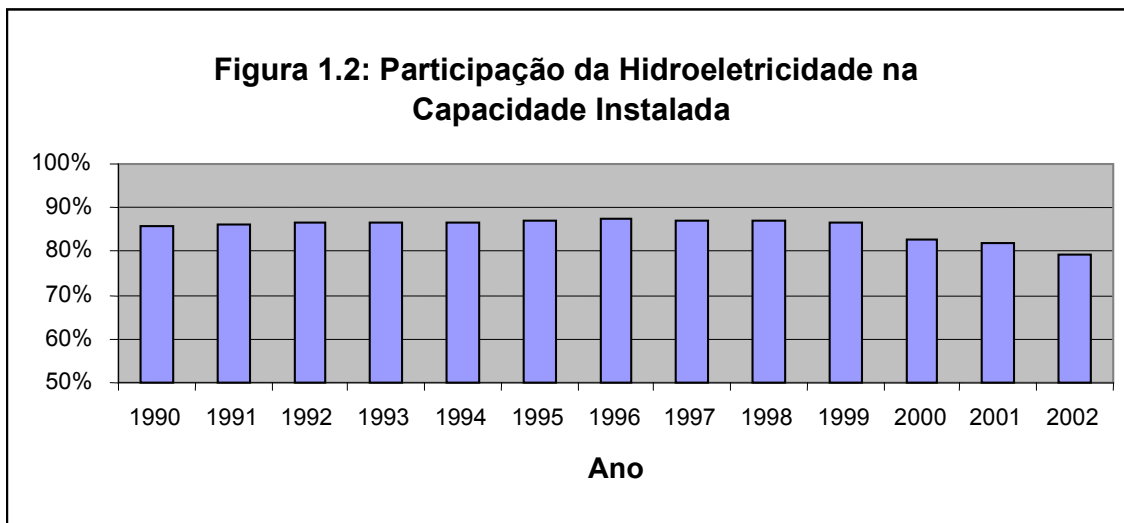
O modelo do setor elétrico brasileiro vigente até o início dos anos 90 mostrou-se incapaz de dar continuidade à sua sustentação. Observando a Figura 1.1 (MME, 2004), notamos que o ritmo de crescimento no consumo de eletricidade foi muito maior do que o aumento na capacidade instalada entre 1990 a 2000; entre outras componentes, esta foi uma das causas da crise de oferta ocorrida no ano de 2001.



Ainda em 2001, observamos uma queda abrupta no consumo, dada pelo racionamento imposto pelo Governo naquele ano. A sociedade como um todo passou a utilizar a energia de forma mais racional, adotando, inclusive, a substituição de alguns equipamentos antigos por outros mais eficientes do ponto de vista energético.

Esta mudança de comportamento, aliada à recuperação dos níveis dos reservatórios das hidroelétricas em 2002 e 2003, teve como consequência a sobra de energia. Ainda mais, a redução no consumo fez reduzir o faturamento das empresas do setor, gerando um cenário com paralisação dos investimentos em sua expansão; isto pode significar risco de um novo racionamento no futuro (Tolmasquim, 2003).

Uma característica marcante da geração de eletricidade no país é a participação maciça da hidroeletricidade, como mostra a Figura 1.2 (MME, 2004). Em toda a década de 1990, esta participação esteve sempre superior a 80%, passando a experimentar uma pequena redução a partir do ano 2000 devido à penetração de novas termoelétricas.



As grandes hidroelétricas, por serem muito intensivas em capital, requerem um contínuo e grande aporte de investimentos para manter sua expansão. A ruptura no aumento da capacidade de oferta de eletricidade nos anos 90 teve sua origem na forma da condução do monopólio estatal sobre o setor. As empresas do setor elétrico passavam por sérios problemas financeiros, enquanto o poder público manifestava enorme dificuldade em realizar novos investimentos, e até mesmo em concluir os que estavam em andamento (Coelho, 1999).

Entretanto, não eram somente as questões econômico-financeiras que estavam dificultando a expansão de novas hidroelétricas de grande porte. Os possíveis impactos ambientais decorrentes começaram a se tornar uma restrição, dado que a disponibilidade dos grandes potenciais hídricos ainda a serem explorados estarem em regiões onde as áreas alagadas seriam muito maiores, como na região Norte do país (Moreira, 1991).

Do exposto até o momento, chama a atenção que a crise de oferta de eletricidade em 2001 decorre, em grande parte, da incapacidade de expandir a capacidade instalada e de diversificar a forma de geração. Passou a ser discutível um modelo de parque gerador em que predominam grandes hidroelétricas, dadas as restrições para novos investimentos, como também a questão ambiental. Fez-se necessário pensar em políticas que pudessem viabilizar uma maior participação da iniciativa privada no setor<sup>1</sup>, bem como aumentar a participação de outras tecnologias de geração de eletricidade.

Naquele momento de crise, um esforço foi realizado no sentido de dar uma maior participação da termoeletricidade a gás natural, dada a disponibilidade do gasoduto Bolívia-Brasil. Ganha também destaque a exploração das fontes alternativas de energia, entre elas a co-geração, constituindo-se não somente em uma estratégia para o aumento na oferta de eletricidade, mas também como uma forma racional de melhor aproveitamento da energia por alguns setores industriais.

O setor sucroalcooleiro possui um dos maiores potenciais a ser explorado de oferta de energia elétrica através do processo de co-geração, com estimativa de poder gerar 20 vezes a energia elétrica que demanda (Walter, 1994).

Criado em abril de 2002, O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) estabeleceu a previsão de compra de 3.300 MW produzidos por fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidroelétricas (PCHs), com 1.100 MW para cada fonte (MME, 2005).

---

<sup>1</sup> Destacam-se as privatizações de algumas companhias geradoras, – CESP (parcial) e Eletrosul – e a participação da iniciativa privada em diversos novos empreendimentos de geração no país, como produtores independentes.

Uma maior oferta de eletricidade pelo setor sucroalcooleiro no curto prazo através da co-geração, pode ser viabilizada utilizando-se o bagaço de cana como combustível. Assim, uma maior oferta de álcool, por exemplo, pode aumentar a oferta de bagaço, que por sua vez, poderá estar relacionada a uma maior oferta de eletricidade. Fica evidenciada, então, uma possibilidade de relação entre dois energéticos a partir da cana: o álcool combustível e a geração de eletricidade através da queima do bagaço da cana para sua produção.

## **1.2 – Combustíveis líquidos para a frota leve.**

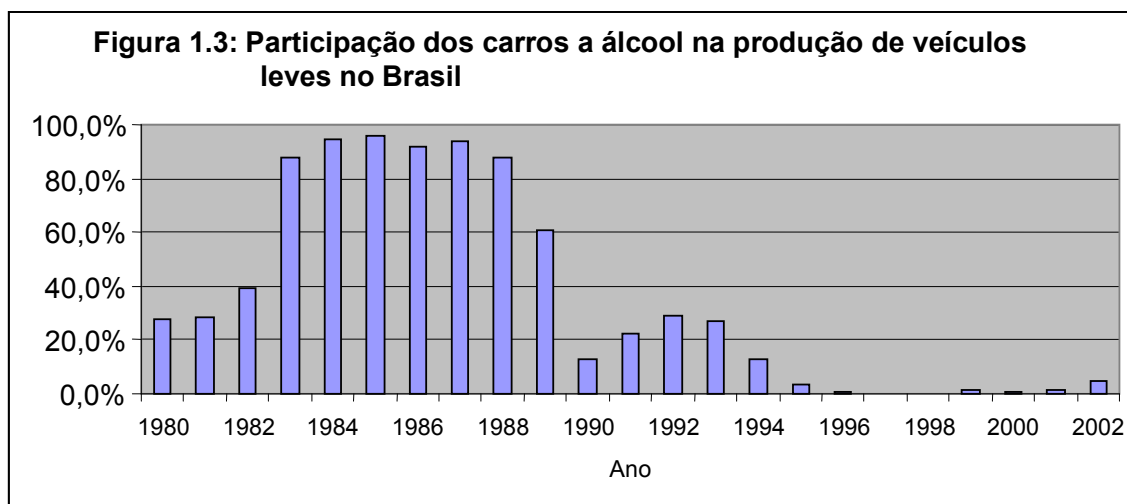
Paralelamente à questão do setor elétrico, também observamos alterações no setor de combustíveis líquidos para a frota leve de veículos no Brasil, ou seja, em políticas com relação ao álcool e à gasolina.

Após a eclosão da crise do petróleo na década de 1970, o Brasil passa a implementar o programa do Proálcool como uma alternativa ao choque causado pela disparada do preço do barril de petróleo, com o objetivo de diminuir a dependência dos combustíveis fósseis em sua matriz energética (Coelho, 1999).

Em sua primeira fase, de 1975 a 1979, o programa do Proálcool consistiu em adicionar álcool anidro à gasolina, criando-se desta forma o gasoálcool. Em sua segunda fase, a partir de 1979, o programa contemplou a utilização do álcool hidratado como um combustível alternativo para os veículos leves. Um grande esforço foi realizado para alcançar tal objetivo, tendo o governo um papel importante na formulação de políticas de incentivo para os principais agentes envolvidos no processo: a indústria automobilística nacional, a indústria sucroalcooleira, a indústria de bens de capital para a expansão das destilarias, como também os consumidores.



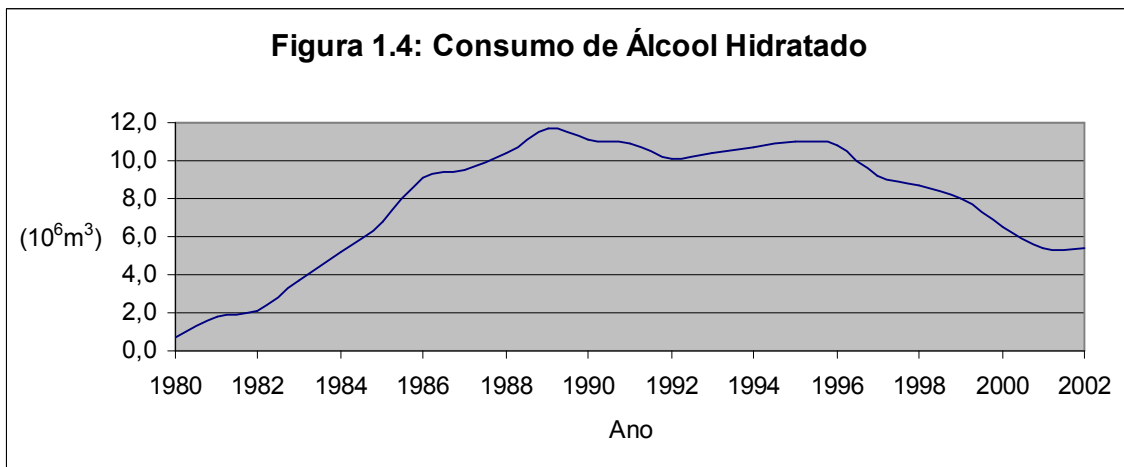
Durante a década de 1980, a produção de veículos a álcool aumentou substancialmente, atingindo picos superiores a 90% da produção total nos anos de 1984 a 1987, como mostra a Figura 1.3 (ANFAVEA, 2004).



Entretanto, a partir da segunda metade dos anos 1980, começa a haver uma queda nos preços internacionais do barril do petróleo, com a consequente pressão para a queda dos preços do álcool hidratado doméstico. Em 1989, motivado pelos preços insuficientes de seu produto combustível, o setor sucroalcooleiro reduz a oferta do álcool em favor do açúcar, em melhores condições comerciais no mercado internacional, ocasionando a escassez do álcool hidratado.

Neste momento, já não há pleno entendimento entre o governo e usineiros, que atravessam, em geral, dificuldades econômico-financeiras (Walter, 1994).

Durante a década de 1990, a produção de veículos a álcool cai drasticamente, como exibido na Figura 1.3. O consumo de álcool hidratado no ano 2000, com tendência à queda naquele instante, é decorrente de uma frota com cerca de 2,5 milhões de veículos, em franco processo de sucateamento (ÚNICA, 2004). A Figura 1.4 (MME, 2004) mostra a evolução do consumo de álcool hidratado a partir de 1980.



Ao final da década de 1990, dois eventos são relevantes para o mercado interno de combustíveis líquidos:

1º: No início de 1999 ocorre a desvalorização do real face ao dólar, pressionando o aumento nos preços dos derivados de petróleo e, por consequência, sobre a gasolina;

2º: O governo passa a não interferir nos preços do álcool, com o objetivo de desregular o setor.

Em duas décadas de experiências acumuladas no Proálcool, o setor sucroalcooleiro passa a produzir o combustível com maior competitividade, de tal sorte que nos últimos 3 anos, o preço do álcool hidratado tem se mantido entre 50% a 65% do preço do gasoálcool.

Deste modo, o álcool hidratado passa a ser novamente uma alternativa à gasolina, com a vantagem de ser, agora, um produto não subsidiado. Entretanto, no início deste século, já não há mais condições para a implantação de um programa de incentivo ao álcool como no início do Proálcool.

Mas uma nova condição tecnológica surge, nos últimos dois anos, como uma possibilidade para o aumento do uso do álcool hidratado: o advento dos veículos bicomcombustíveis. Estes veículos permitem ao consumidor fazer sua livre escolha com relação ao combustível mais econômico. Trata-se de um enorme ganho para um país que desenvolveu toda uma estrutura para um combustível realmente alternativo à gasolina. Portanto, o mercado de combustíveis líquidos para veículos leves experimenta uma situação bastante promissora.

### **1.3 – A inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética.**

Nas duas seções anteriores, procuramos mostrar como é oportuna a maior participação do setor sucroalcooleiro na matriz energética nacional.

Por um lado, a oferta de excedentes de eletricidade, a partir do processo de co-geração, vai ao encontro da necessidade de aumento da oferta de eletricidade, através do uso racional de energia, com a participação de um agente da iniciativa privada. Por outro, a possibilidade do aumento de veículos bicomcombustíveis pode requerer o aumento da participação do álcool no mercado de combustíveis líquidos.

Para um prazo relativamente curto, o aumento na demanda por álcool pode disponibilizar uma maior quantidade de bagaço de cana, o que pode ocasionar uma maior oferta de eletricidade através da co-geração. Para o setor sucroalcooleiro, há uma relação entre estes dois energéticos.

Entretanto, existem outros ganhos advindos da maior participação do setor sucroalcooleiro na matriz energética:

1º: Sendo o álcool um combustível renovável, apresenta vantagem em relação à gasolina por contribuir para a redução de gases responsáveis pelo efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>;

2º: A oferta de eletricidade por co-geração a partir do bagaço de cana também apresenta vantagens ambientais pela redução da emissão de CO<sub>2</sub>. Isto pode atenuar os impactos ambientais decorrentes do aumento da geração termoelétrica a partir de combustíveis fósseis, como por exemplo, o gás natural;

3º: Estima-se que o setor sucroalcooleiro gera aproximadamente 1,0 milhão de empregos diretos e indiretos no país (Waack, 1998). Um aumento considerável no nível de atividade econômica deste setor pode ocasionar incrementos significativos sobre a estrutura de empregos relacionadas a esta indústria.

O aumento da oferta de eletricidade excedente por co-geração no setor sucroalcooleiro poderia reduzir os impactos ambientais e sociais, particularmente com a viabilidade econômica do Proálcool (Zylberstajn e Coelho, 1997).

Percebe-se, então, que o tradicional setor sucroalcooleiro tem um papel potencial extremamente oportuno na questão energética, sob os aspectos econômicos, sociais (geração de empregos) e ambientais.

#### 1.4 – Objetivo da dissertação e escopo do trabalho.

Neste estudo, pretendemos fazer um recorte sobre a indústria sucroalcooleira no nível nacional, analisando os efeitos sobre a atividade econômica, o nível de empregos e o PIB<sup>2</sup> **em toda a cadeia produtiva da economia**, decorrentes do aumento da participação do álcool combustível, do incremento da geração de eletricidade a partir do bagaço de cana e da penetração das termoeletricas a gás natural.

No Capítulo 2 fazemos uma breve revisão da literatura relacionada ao setor sucroalcooleiro, bem como apresentamos alguns conceitos fundamentais para o setor energético.

Para realizarmos essas análises sobre a atividade econômica, a metodologia básica empregada nesta dissertação consiste no uso do modelo de insumo-produto, que apresentamos no Capítulo 3. No Capítulo 4 mostramos os procedimentos usados para a construção da base de dados do modelo. Os resultados e impactos sobre as variáveis de estudo decorrentes dos choques propostos são apresentados no Capítulo 5.

As conclusões e observações finais são apresentadas no Capítulo 6.

No Apêndice, apresentamos a dedução da expressão matemática para obtermos a matriz de transações usada no modelo de insumo-produto (Apêndice A.1), a matriz de transações com a inserção do setor de geração de eletricidade por bagaço de cana (Apêndice A.2) e o algoritmo<sup>3</sup> utilizado para a implementação do modelo matemático (Apêndice A.3).

---

<sup>2</sup> Produto Interno Bruto, que corresponde à soma dos fatores trabalho e capital utilizados pelos setores produtivos da economia, os impostos indiretos líquidos, os impostos diretos e outros subsídios.

<sup>3</sup> O algoritmo é apresentado para ser implementado com o MATLAB. A utilização deste recurso pode ser encontrada em Hanselman et al. (2003)

## **2 – Setor sucroalcooleiro na matriz energética nacional.**

*“Toma conselhos com o vinho, mas toma decisões com a água.”  
(Benjamin Franklin)*

Neste capítulo, apresentamos alguns conceitos e informações pertinentes aos setores energéticos no Brasil, sem a menor pretensão de esgotar a complexidade de seu conteúdo, mas unicamente com o objetivo de situar os temas estudados nesta dissertação em um nível de entendimento comum. Estes aspectos tratam sobre:

- A co-geração
- Panoramas dos setores elétrico e de álcool combustível
- A inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética

Particularmente, são descritos os setores elétrico e o do álcool combustível, por se tratarem daqueles em que o setor sucroalcooleiro possui influência direta.

Cabe observar que há diversos trabalhos que tratam especificamente do setor sucroalcooleiro na questão energética; entre eles destacamos: Nogueira (1987), que estuda a utilização de energia na produção de álcool de cana-de-açúcar, bem como a co-geração de eletricidade; Walter (1994), que analisa as possibilidades técnicas e econômicas da co-geração e da produção independente de eletricidade nas usinas de açúcar e de álcool; e Coelho (1999), que propõe a discussão de mecanismos para viabilizar um programa amplo de comercialização de excedentes de eletricidade a partir de biomassa, em particular no setor sucroalcooleiro paulista.

## 2.1 – Cogeração.

Conceitualmente, Oddone (2001) propõe a seguinte definição de co-geração: *“A co-geração pode ser definida como o processo de transformação de uma forma de energia em mais de uma forma de energia útil”*.

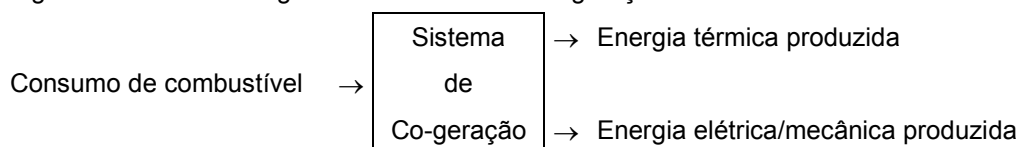
Como utilização da energia útil, Oddone (2001) também menciona que “as formas de energia útil mais frequentes são a energia mecânica e a térmica. A energia mecânica pode ser utilizada diretamente no acionamento de equipamentos ou para geração de energia elétrica. A energia térmica é utilizada diretamente no atendimento das necessidades de calor para processos, ou indiretamente na produção de vapor ou na produção de frio”.

Como concordam diversos autores, entre eles Coelho (1999), Walter (1994) e Conceição (1999), a co-geração é vantajosa sob o aspecto da eficiência energética. Oddone (2001) assim conclui a questão da eficiência energética na co-geração: “Pode-se afirmar que a co-geração apresenta vantagens de eficiência em relação à geração termoelétrica, pela destinação final da energia produzida. Enquanto na geração termoelétrica uma parte do calor é sempre desprezada, na co-geração esse calor alimenta processos produtivos, fazendo com que a eficiência global seja superior”. Ramalho (1999) ainda complementa: “Este melhor aproveitamento do conteúdo energético do combustível básico faz com que o processo de co-geração seja reconhecido como uma ação de conservação de energia, visto que o rendimento no processo de geração de energia é elevado a partir da produção combinada”.

No setor industrial, Nogueira (1987) complementa a caracterização da sua demanda energética como *“associada ao consumo de energia térmica ou de processo, em operações de secagem, aquecimento, evaporação, cozimento, etc. e de energia elétrica ou mecânica, para as operações de transporte, bombeamento, usinagem mecânica, moagem, etc.”*

O sistema de co-geração pode também ser esquematizado de acordo com os seus fluxos energéticos (Nogueira, 1987), como ilustrado na Figura 2.1.

Figura 2.1: Fluxos energéticos no sistema de co-geração



Fonte: Nogueira (1987)

Podemos dizer, de forma simplificada, levando-se em consideração os parágrafos anteriores, que a energia elétrica também pode ser obtida através do processo de co-geração. Vejamos o que ocorre no setor sucroalcooleiro, o foco de estudo deste trabalho.

Para a produção de açúcar e álcool, faz-se a moagem da cana-de-açúcar, o que produz seu caldo e bagaço. Há a necessidade, no processo industrial do setor, de força motriz para movimentar algumas máquinas, energia elétrica para ser utilizada no acionamento de máquinas de menor porte e na iluminação, como também calor para o processo industrial. A combustão do bagaço de cana em uma caldeira pode gerar vapor d'água suficiente para: ser usado como força motriz para o acionamento de algumas máquinas da usina, acionar um gerador para produzir eletricidade e ainda ser usado como fonte de calor para o processo industrial.



Observamos que, nesta situação, a co-geração ocorre pela transformação da energia térmica de combustão do bagaço em três outras formas de energia útil, que são diretamente utilizadas: energia mecânica, energia elétrica e calor.

Com relação à co-geração em usinas de açúcar e álcool, Nogueira (1987) menciona: “Os sistemas de co-geração configuram uma forma racional de utilização de energia primária e visam o simultâneo suprimento de energia elétrica ou mecânica e energia térmica, a partir da queima de um único combustível e uso sequencial dos efeitos da combustão. Este procedimento já é clássico na indústria canavieira.”

Diversos trabalhos tratam a co-geração também pelo enfoque termodinâmico; entre eles podemos citar Oddone (2001), que relaciona os diversos ciclos termodinâmicos para a produção de eletricidade por co-geração, até trabalhos mais específicos, como Coelho (1999) e Walter (1994), que analisam em profundidade as questões termodinâmicas envolvidas na produção de eletricidade por co-geração nas usinas de açúcar e álcool.

Os dois ciclos termodinâmicos que são de interesse para os setores energéticos abordados, a saber, os setores sucroalcooleiro e a geração de eletricidade a partir de gás natural, são o ciclo Rankine e o ciclo combinado.

No ciclo Rankine, uma caldeira, a partir da queima de um combustível qualquer, eleva a pressão e a temperatura da água em estado líquido, gerando vapor d'água superaquecido. Este vapor aciona uma turbina, que pode estar acoplada a uma máquina qualquer (fornecendo, deste modo, energia mecânica) ou a um gerador elétrico. Após percorrer a turbina, o vapor é condensado, voltando à caldeira para se transformar em vapor novamente, completando o ciclo.

Do ponto de vista termodinâmico, o ciclo Rankine rege a co-geração em uma usina de açúcar e álcool, destacando-se, no entanto, que, neste caso, o vapor só é condensado após ser utilizado, como fonte de calor, no processo de fabricação de açúcar e álcool.

No ciclo combinado, a produção de eletricidade ocorre do seguinte modo: uma turbina a gás aciona um gerador, mas os gases provenientes da turbina ainda estão em alta temperatura, o que permite gerar vapor d'água em uma caldeira de recuperação, vapor este que aciona uma outra turbina (a vapor d'água) acoplada a um outro gerador. Portanto, a produção de eletricidade, neste ciclo, ocorre em dois geradores.

Detalhes termodinâmicos dos ciclos acima citados podem ser encontrados, por exemplo, em Wylen e Sonntag (1976).

O uso do processo de co-geração para obter energia não é recente. No século XIX, aproximadamente 58% da energia elétrica produzida nos Estados Unidos era proveniente da co-geração, caindo a 4% em 1974. A grande expansão das redes de transmissão e distribuição, o aumento na confiabilidade e qualidade destes serviços, aliado à redução no custo de fornecimento, explica em parte essa tendência de fazer da eletricidade um produto principal. Já em países da Europa, como a Alemanha, França e Itália, a energia elétrica co-gerada participava entre 16% a 20% de toda a eletricidade produzida na década de 1980, justamente por não terem podido contar com a ampliação em larga escala dos serviços de transmissão e distribuição (Nogueira, 1987).

Walter (1994) argumenta que fatores diversos, como a questão ambiental, a competitividade do setor industrial, aspectos relacionados à atividade econômica regional, racionalização do uso dos insumos energéticos, entre outros, têm justificado diversas experiências internacionais bem sucedidas com co-geração.

Muitos desses fatores estão relacionados ao fato da co-geração ser uma forma de geração descentralizada. Entre outras, Walter (1994) atribui as seguintes vantagens a este tipo de geração:

- (i) Promoção do desenvolvimento local, através da utilização de recursos da própria região em que a instalação é inserida;
- (ii) Minimização dos impactos ambientais associados à geração descentralizada;
- (iii) Algumas alternativas associadas à geração descentralizada são, em geral, de baixo custo de investimento, o que possibilita a viabilização de obras, mesmo dentro de um quadro de restrições de acesso ao capital, permitindo, ainda, a participação de um maior número de agentes na atividade enquanto empreendedores;
- (iv) Dado o caráter de maior dispersão geográfica das unidades de geração e o número de centrais em condições de operar em um determinado instante, considera-se que a geração descentralizada confere, potencialmente, maior confiabilidade na operação do sistema elétrico isolado, e o maior “mix” na geração, também, pode levar a uma maior segurança no provisionamento energético a essas regiões;
- (v) No caso da co-geração, pode-se atribuir à geração descentralizada um ganho adicional na maior eficiência no uso da energia, frente à produção exclusiva de calor ou potência.

A participação da co-geração no Brasil ainda é bastante tímida, correspondendo a uma média de 3,6% de toda a produção de eletricidade entre 1985 e 1992 (Walter, 1994). Diversos autores, entre eles Coelho (1999), Walter (1994) e Brighenti (2003), analisam as principais causas sobre o assunto, onde podem-se citar algumas delas: as barreiras institucionais; o conservadorismo relacionado à preferência pela geração hidroelétrica, devido à sua importância na matriz nacional; e a falta de políticas claras para a expansão de outras fontes de energia.

## **2.2 – Panorama do setor energético nacional.**

Nesta seção, apresentamos uma breve descrição sobre os setores de eletricidade e do álcool combustível. Inicialmente, exibimos um panorama geral destes setores dentro do contexto energético. Em Coelho (1999) e Walter (1994), é apresentada uma discussão detalhada sobre os setores elétrico e o setor sucroalcooleiro, passando pelos seus históricos, sua evolução e respectivos problemas.

### **2.2.1 – Panorama do setor elétrico<sup>4</sup>.**

A utilização e comercialização da energia elétrica no Brasil começam a ocorrer no final do século XIX. A fase inicial do estabelecimento do setor elétrico nacional (até o início da década de 1930) se dá com a predominância do capital privado estrangeiro, dadas a ausência de domínio tecnológico e incapacidade de investimento pelo setor público.

---

<sup>4</sup> Esta seção é baseada em Walter (1994).

Ao final da Segunda Grande Guerra, o Brasil passa a experimentar um rápido crescimento industrial, e, aliado às altas tarifas da energia elétrica com a má qualidade dos serviços, estabelece-se uma conjuntura para a estatização do setor. Na década de 1950, o Plano Nacional de Eletrificação é elaborado com o objetivo de aproveitar o potencial hidráulico do país pelo Estado. Em seguida, na década de 1960, são criadas empresas estatais para atender ao plano de expansão do setor elétrico, com foco na geração hidroelétrica, como Furnas e Eletrobrás. A partir de então, consolida-se o modelo do setor elétrico nacional, com a participação quase que maciça do Estado.

Este quadro passa a mudar a partir do início da década de 1970, face aos desdobramentos dos choques do petróleo, que ocasionaram um aumento no custo do capital, refletindo na dificuldade e no alto custo da expansão do parque elétrico. Aliado a este problema, passam a vigorar baixas tarifas de energia elétrica (por imposição do Governo) em função das dificuldades de manutenção dos índices inflacionários no país, que explodiram na década de 1980. Como consequência, o setor elétrico entra em uma profunda crise econômico-financeira.

No início da década de 1990, o modelo elétrico passa a ser questionado, principalmente levando-se em consideração as possibilidades de retomada do crescimento econômico. A partir de 1992, o Governo Federal implementa diversas mudanças com a finalidade de promover a reestruturação do setor elétrico, contemplada dentro da estratégia de privatização, tendo como objetivo fomentar a competição no setor.

Em 2004, é implantado o novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro, com o objetivo de promover a modicidade tarifária, garantir a segurança do suprimento de energia elétrica, assegurar a estabilidade do marco regulatório e promover a inserção social por meio do setor elétrico (programas de universalização do atendimento).

Além dos agentes já existentes (Ministério de Minas e Energia (MME), Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás)), o novo modelo prevê novos agentes, como a Empresa de pesquisa energética (EPE), a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE).

O modelo considera a geração como uma atividade competitiva, enquanto as atividades de transmissão e distribuição revestem-se de um caráter de serviço público. Os geradores podem ser concessionários de serviço público de geração (CSPG), produtores independentes de energia elétrica (PIE) ou autoprodutores.

### **2.2.2 – Co-geração no setor sucroalcooleiro.**

O bagaço de cana, que representa entre 25% a 30% em peso da cana processada com 50% de umidade, começou a ser utilizado a partir do início do século XX como combustível nas usinas, substituindo a lenha na geração de calor necessário para a evaporação do caldo. Posteriormente, o bagaço passou a ser queimado em caldeiras com o objetivo de produzir vapor, atendendo às necessidades energéticas (vapor utilizado para o acionamento direto de algumas máquinas) e de processo da indústria de açúcar e de álcool. Com o aumento do preço do petróleo na década de 1970, cresce a utilização do bagaço como fonte energética e, na década de 1980, o excedente de vapor nas usinas começa a ser explorado para a produção de eletricidade, primeiramente para atender à demanda das usinas, e, posteriormente, para ser oferecida ao sistema elétrico (Ramalho, 1999).

Particularmente, pode-se tratar a cana de açúcar como um vetor da energia solar, voltado à produção de energia em formas mais diretamente utilizáveis, como álcool, bagaço e energia elétrica (Nogueira, 1987).

É importante lembrar que para a produção de eletricidade por co-geração no setor sucroalcooleiro, *“os excedentes de bagaço que podem ser atingidos dependem diretamente das eficiências das caldeiras empregadas.”* (Nogueira, 1987).

No âmbito institucional, a regulação e incentivo à atividade de comercialização de excedentes de eletricidade evoluiu lentamente. A partir do início da década de 1980, surgiram instrumentos legais com a finalidade de estabelecer regras para a compra de excedentes de eletricidade dos autoprodutores<sup>5</sup>, trazendo, entretanto, como única opção a venda de eletricidade desses à concessionária local.

Atualmente, a reestruturação do setor elétrico, que cria a figura do consumidor livre<sup>6</sup>, configura um ambiente mais favorável ao autoprodutor, que pode comercializar seu excedente de eletricidade diretamente com o consumidor (Ramalho, 1999). A criação do Produtor Independente de Energia<sup>7</sup> também favorece a expansão do parque gerador de eletricidade (Brighenti, 2003).

No Brasil, O Estado de São Paulo é o que apresenta o maior potencial para explorar a co-geração no setor sucroalcooleiro (Ramalho, 1999), onde se concentra aproximadamente 62% da produção nacional de cana-de-açúcar e 59% do bagaço disponível para fins energéticos (Coelho, 1999).

---

<sup>5</sup> Autoprodutor: pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio, que recebem concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, podendo transacionar eventuais excedentes (Ramalho, 1999).

<sup>6</sup> Consumidor livre: consumidor que observando os limites legais, pode adquirir energia elétrica de concessionário, produtor independente de energia ou autoprodutor (Ramalho, 1999).

<sup>7</sup> Pessoa jurídica, ou empresas reunidas em consórcio, que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio, podendo ser vendida toda a energia produzida ou então parte dela (ANEEL)

### **2.2.3 – Panorama do setor de combustíveis líquidos: o papel do álcool combustível.**

O setor sucroalcooleiro passou a ter importância estratégica na matriz energética brasileira a partir do estabelecimento do Proálcool (Programa Nacional do Álcool), desenvolvido e instituído no Brasil em meio à grave crise mundial do petróleo na década de 1970. Seu objetivo era reduzir a dependência nacional dos combustíveis fósseis, que tiveram, em função da crise, um aumento de preço brutal.

Em sua fase inicial, de 1975 a 1979, o programa consistiu em adicionar álcool anidro à gasolina. A partir de 1979, a segunda fase do programa consiste em estabelecer a penetração de veículos leves movidos a álcool hidratado no mercado.

Um grande esforço coordenado foi feito para atingir tais objetivos. Com o governo federal à frente do projeto, foram acionados os setores automobilístico, a indústria sucroalcooleira e todos os setores envolvidos nas respectivas cadeias produtivas. O carro movido a álcool caiu no gosto popular e, no final da década de 1980, a produção deste tipo de veículo chegou a ter participação acima de 95% da produção nacional.

Nogueira (1987) ainda menciona: “O programa nacional do álcool teve um período de crescimento acelerado, chegando em alguns anos a constituir-se no maior programa em energia alternativa no mundo”.

Entretanto, ao longo da mesma década de 1980, o preço do barril de petróleo volta a ter queda, e aliado à sobra de gasolina no mercado interno, o preço pago pelo litro de álcool aos usineiros passa a não ser atraente. Neste instante, já não há pleno entendimento entre governo e usineiros, e em 1989, o país passa por uma crise de oferta de álcool hidratado. A partir de então, o Proálcool entra em crise, com a redução extrema da produção de veículos a álcool na década de 1990.



O programa, que foi oficialmente desativado durante o governo Collor, de certa forma sobrevive à entrada do século XXI, pela participação do álcool anidro na gasolina, e por uma frota parcialmente sucateada e em declínio de veículos movidos a álcool hidratado.

Recentemente, em 2003, com a entrada dos veículos bicomcombustíveis<sup>8</sup> no mercado, um novo cenário pode vir a favorecer o fortalecimento da participação do álcool combustível. No primeiro semestre de 2004, a venda de veículos novos bicomcombustíveis já atingia 27% do total dos veículos produzidos (ANFAVEA, 2004), motivada pelo fato do preço do álcool hidratado corresponder à metade do preço da gasolina naquela oportunidade.

O aumento da participação destes tipos de veículos na frota provocará uma maior flexibilidade em decorrência das flutuações dos mercados que afetam os preços e a oferta de gasolina e álcool. Em Scaramucci et al. (2004), é feita uma análise exploratória sobre alguns impactos na economia em decorrência de um cenário de escassez de petróleo e da variação da elasticidade de substituição entre álcool e gasolina.

Para um horizonte situado no médio prazo, a se confirmar a consolidação dos veículos bicomcombustíveis, a demanda por álcool hidratado deverá experimentar um novo aumento. A diferença neste cenário, comparada com a época da 2ª fase do Proálcool na década de 1980, é completamente distinta no que diz respeito à ausência do Estado como agente controlador do processo, na medida em que o preço do álcool está desregulamentado, sendo o surgimento dos veículos bicomcombustíveis fruto exclusivo da iniciativa da indústria automobilística.

---

<sup>8</sup> Veículos que podem usar qualquer mistura de álcool hidratado ou gasolina, incluindo somente álcool hidratado ou somente gasolina.

## **2.3 – A inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética.**

Resumindo, a participação do setor sucroalcooleiro na matriz energética ocorre devido à produção de álcool, bem como à produção de eletricidade através do processo de co-geração. A seguir, apontamos alguns aspectos que conferem algumas vantagens comparativas ao setor, particularmente aspectos ambientais e sócio-econômicos. Finalmente, encerramos esta seção apresentando a proposta da dissertação.

### **2.3.1 – Aspectos ambientais<sup>9</sup>.**

Como já apresentado anteriormente, a produção de eletricidade no Brasil é predominantemente de origem hidráulica (90% em 2003 (MME, 2004)). Praticamente todo o restante da geração é de origem termoeletrica (9,8% em 2003 (MME, 2004)). Também pelo que foi exposto no início da seção 2.1, as possibilidades imediatas de expansão da geração de eletricidade podem ser através da hidroeletricidade e da termoeletricidade.

Um aspecto a ser considerado no planejamento da expansão do parque gerador de eletricidade é o ambiental. De acordo com Rosa et al. (1995), em decorrência da decomposição da biomassa submersa, quando ocorre a formação de represas, a hidroeletricidade também é responsável por emissões de CH<sub>4</sub> (metano), que é um gás que provoca o efeito estufa.

Ainda em relação à hidroeletricidade, outros impactos de relevância devem ser considerados (Moreira, 1991):

---

<sup>9</sup> Esta seção é baseada em Coelho (1999).

- Impactos sobre solo e recursos minerais;
- Impactos sobre a vegetação e a fauna (aquática e terrestre);
- Impactos sociais e culturais devido ao deslocamento e reassentamento de populações.

A questão dos impactos ambientais causados pelas termoelétricas envolve o combustível e a tecnologia utilizada para a geração.

Além da emissão dos gases causadores do efeito estufa ( $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ ), outros poluentes são encontrados nos gases de combustão, principalmente nos combustíveis fósseis, como os óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e o material particulado (MP) (Coelho, 1999).

Entre os combustíveis utilizados para a geração termoelétrica no Brasil, podemos destacar (Coelho, 1999):

- Carvão mineral: responsável pela poluição das águas, devido à necessidade de lavagem dos gases, e também pela poluição do solo, em função da atividade de mineração e também da disposição das cinzas em aterros. Em termos de poluição atmosférica, é o combustível fóssil mais poluente, com elevadas emissões de  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , material particulado,  $\text{CO}_2$  e grande quantidade de cinzas, devido às características do carvão brasileiro;
- Óleo combustível: Tem significativa participação na matriz energética nacional, com um consumo de  $15\text{Mm}^3$  em 2003 (MME, 2004), sendo 12% utilizados na geração termoelétrica. Como poluente, o seu principal efeito é a poluição atmosférica, caracterizada pelas emissões de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e material particulado.

- Gás natural: Sua participação na matriz energética tem aumentando significativamente nos últimos anos, evoluindo de 1,8 % em 1990 a 3% em 2003 (MME, 2004). É o combustível fóssil menos poluente, com reduzidas quantidades emitidas de SO<sub>x</sub> e material particulado. O maior problema da utilização deste combustível reside nas emissões de NO<sub>x</sub>.

Os impactos ambientais decorrentes da geração de eletricidade nas usinas sucroalcooleiras por co-geração podem ser analisados na fase agrícola e na fase industrial.

Na fase agrícola, a colheita da cana pode ser manual, onde é utilizada em larga escala a prática das queimadas; ou mecanizada, onde isto não ocorre. Em qualquer uma destas modalidades, há a utilização de combustíveis fósseis (óleo diesel) em maior ou menor intensidade, que é responsável pelas emissões de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO e material particulado (Coelho, 1999).

A seguir, descrevemos, qualitativamente, os impactos ambientais ocasionados para cada modalidade de colheita da cana-de-açúcar.

- Manual sem a prática das queimadas: os impactos decorrentes desta prática são restritos à atividade de transporte da cana à usina, correspondendo à utilização do óleo diesel;
- Manual com a prática das queimadas: de acordo com Macedo (1997), esta prática é realizada em aproximadamente 90% da área do Estado de São Paulo. Além da utilização de óleo diesel para a atividade de transporte da cana para a usina, as queimadas são responsáveis pela emissão de CH<sub>4</sub>, CO e material particulado (Macedo, 1997);

- Mecanizada, que dispensa a prática das queimadas: nesta modalidade, há um aumento significativo no consumo de óleo diesel, devido à utilização das colheitadeiras mecânicas.

Na fase industrial, a maior parte das emissões de poluentes é devida à queima do bagaço de cana-de-açúcar nas caldeiras (Coelho, 1999), sendo os poluentes principais o  $\text{NO}_x$  e o material particulado.

Um aspecto importante para a análise energética no setor sucroalcooleiro corresponde aos índices de produção de energia em relação ao consumo de energia, e a razão entre energia produzida em relação ao consumo de energia de origem fóssil. Em dois cenários tecnológicos para o Estado de São Paulo (o primeiro considerando condições médias, e o segundo incorporando métodos e tecnologias aperfeiçoadas já disponíveis em algumas usinas para a época), Nogueira (1987) obteve índices de produção/consumo de 6,4 a 9,5 para a energia total e de 8,8 a 12,3 para a energia de origem fóssil.

Mesmo com as emissões citadas para a produção de eletricidade (assim como álcool e açúcar) pelo setor sucroalcooleiro, este possui uma situação vantajosa, comparada a seus similares fósseis, em relação às emissões de  $\text{CO}_2$ , que é um gás que contribui de forma negativa para o efeito estufa. A cultura de cana-de-açúcar, insumo básico para a produção destes energéticos, constitui-se em um estoque de carbono devido ao processo de fotossíntese, o que confere ao setor posição privilegiada neste quesito.

### **2.3.2 – Aspectos sócio-econômicos.**

Nos últimos anos, alguns trabalhos têm buscado analisar algumas vantagens da produção de álcool, em relação à gasolina, no que diz respeito a assuntos relacionados ao emprego e ao desenvolvimento regional. Neste ponto, também cabe comparar a geração descentralizada de energia, da qual a co-geração faz parte, com a produção de eletricidade dada pelas grandes hidroelétricas.

O setor sucroalcooleiro está inserido no sistema agroindustrial da cana-de-açúcar, gerando mais de 1,0 milhão de empregos no país (Waack, 1998); deste modo, acréscimos sobre a produção de álcool ou a geração de eletricidade a partir do bagaço de cana pela co-geração trazem impactos positivos imediatos na geração de empregos. Em Guilhoto et al. (2002), são analisados os efeitos diretos e indiretos do processo de mecanização da colheita da cana sobre a estrutura de empregos no Brasil.

Há que se acrescentar, também, que no Brasil são mais de 300 usinas de açúcar e de álcool (Macedo, 2002); assim, um aumento no nível de atividade do setor sucroalcooleiro traz benefícios no desenvolvimento regional, aspecto este já mencionado na seção 2.1.

Diversos autores, entre eles Coelho (1999) e Walter (1994), mencionam, ainda, que a oferta de energia elétrica pelo setor sucroalcooleiro configura-se, além de vantajosa para o setor elétrico, como uma oportunidade para aquele setor diversificar os seus produtos, trazendo inclusive a possibilidade de redução dos custos de produção.

## **2.4 – A proposta da dissertação.**

Até este ponto do trabalho, fizemos um breve relato de diversos aspectos do setor elétrico, no qual o setor sucroalcooleiro pode aumentar em muito a sua participação através da co-geração, e do setor de álcool, no qual a indústria da cana-de-açúcar tem tido presença marcante nos últimos 25 anos.

Como já mencionamos, diversos trabalhos foram realizados para estudar o setor sucroalcooleiro com relação à produção de álcool e a oferta de eletricidade pela co-geração; entretanto, são trabalhos que em sua grande maioria exploram temas ligados à tecnologia.

Atualmente, o país atravessa um período onde o aumento da presença do setor sucroalcooleiro na matriz energética nacional é, por um lado, desejável, no que diz respeito à oferta de eletricidade pela co-geração, e por outro, é praticamente certa, devido ao aumento na demanda por álcool combustível dada pelo advento dos veículos bicom bustíveis.

Observamos que um aumento na produção de álcool disponibiliza uma maior quantidade de bagaço, que, por sua vez, pode incrementar a oferta de eletricidade pela co-geração. Também, pode haver um cenário em que o aumento na demanda por eletricidade possa disponibilizar mais álcool na economia (Scaramucci et al., 2002]). A penetração de um energético, neste setor, pode afetar o outro.

É justamente este aspecto que interessa nesta dissertação: avaliar alguns impactos na economia devido à maior penetração do setor sucroalcooleiro na matriz energética brasileira, como os decorrentes sobre o nível da atividade dos setores da economia, o nível de empregos, o PIB e a ligação entre os setores produtivos.

Para tanto, usamos um modelo de insumo-produto, que é consagrado na literatura como um modelo para avaliar impactos sobre o nível da atividade econômica dos setores em função de um choque na demanda final.



### 3 – O modelo de insumo-produto.

*“Um caminho é uma escolha.”  
(Brenda Nozella Ribeiro)*

#### 3.1 – Modelo de insumo-produto padrão.

O modelo de insumo-produto, formulado por Wassily Leontief na década de 1930, descreve o fluxo circular da renda entre os setores produtivos da economia e tem sido utilizado largamente nos mais diversos estudos sobre economia aplicada.

A teoria de insumo-produto tem como principais pressupostos: (i) equilíbrio geral na economia a um dado nível de preços; (ii) inexistência de ilusão monetária por parte dos agentes econômicos; (iii) retornos constantes à escala; (iv) preços constantes. O modelo impõe, também, que cada setor produza somente um produto, e que cada produto seja produzido somente por um setor.

A concepção básica deste modelo consiste, inicialmente, em identificar os setores produtivos da economia (digamos,  $n$  setores), os agentes que compõem a demanda final e os fatores primários de produção.

Conforme ilustra a Figura 3.1, cada setor, identificado nas colunas, necessita de insumos dos outros setores da economia para produzir (matriz de consumo intermediário **Z**), faz importações (vetor linha **I**), paga impostos indiretos líquidos (vetor linha **IIL**) e remunera os fatores primários de produção (valor adicionado; vetor linha **W**)<sup>10</sup>.

As receitas dos setores ocorrem ao longo das linhas, ou seja, cada setor recebe dos outros setores por fornecer insumos (matriz **Z**), como também recebe pelo consumo dado pela demanda final (vetor **Y**).

As componentes da demanda final são o consumo das famílias (vetor **C**), gastos do governo (vetor **G**), investimentos (vetor **I**) e exportações (vetor **E**).

---

<sup>10</sup> Tabela extraída de Guilhoto (2001).

Para o equilíbrio da economia, devemos ter as despesas de cada setor iguais às suas respectivas receitas.

**Figura 3.1: Matriz de transações**

SETORES DE ORIGEM	SETORES DE DESTINO	DEMANDA FINAL (Y)	PRODUÇÃO TOTAL (X)
	CONSUMO INTERMEDIÁRIO (MATRIZ Z)		
	IMPORTAÇÃO (I)		
	IMPOSTOS INDIRETOS LÍQUIDOS (IIL)		
	VALOR ADICIONADO (W)		
	PRODUÇÃO TOTAL ( $X^T$ )		

Os  $n$  setores da economia possuem relações fundamentais com a teoria de insumo-produto (Miller e Blair, 1985), dadas pela Equação (3.1).

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} + C_i + G_i + I_i + E_i = X_i \quad (3.1)$$

Em que:

$z_{ij}$ : produção do setor  $i$  utilizada como insumo intermediário pelo setor  $j$ ;

$C_i$ : produção do setor  $i$  que é comprada pelas famílias;

$G_i$ : produção do setor  $i$  que é comprada pelo governo;

$I_i$ : produção do setor  $i$  que é destinada ao investimento;

$E_i$ : produção do setor  $i$  que é destinada à exportação;

$X_i$  : produção doméstica total do setor  $i$  (demanda final e insumos intermediários);

$C_i + G_i + I_i$  : demanda final doméstica; e,

$Y_i = C_i + G_i + I_i + E_i$  : demanda final da produção do setor  $i$ . (3.2)

A Equação (3.3) define o coeficiente técnico direto de produção,  $a_{ij}$ , que é a quantidade de insumo do setor  $i$  necessária para a produção de uma unidade de produto total do setor  $j$ , onde  $X_j$  é a produção total do setor  $j$ . Como o modelo de insumo-produto admite, por hipótese, retornos constantes à escala – que implica funções de produção lineares e homogêneas –, os elementos  $a_{ij}$  que formam a matriz  $\mathbf{A}$  ( $n \times n$ ) são constantes.

$$a_{ij} = z_{ij} / X_j \quad (3.3)$$

O destino da produção de um setor  $i$  qualquer é dado pelo consumo intermediário somado à demanda final. Tomando a Equação (3.2), (3.1) pode ser escrita como:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i = X_i \quad (3.4)$$

A equação acima, na forma matricial, torna-se:

$$\mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{Y} = \mathbf{X} \quad (3.5)$$

sendo  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  são vetores coluna de ordem  $(n \times 1)$  e  $\mathbf{A} = [a_{ij}]_{n \times n}$  é a matriz dos coeficientes diretos de produção.

Resolvendo a equação matricial (3.5), obtemos:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{Y} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{Y} \quad (3.6)$$

em que  $\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$  é a matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos, conhecida como matriz inversa de Leontief.

A partir da Equação (3.6) podemos obter a produção total que é necessária para satisfazer a demanda final ( $Y$ ), determinada exogenamente. Podemos, também, avaliar o impacto sobre a produção de todos os setores devido a um determinado incremento na demanda final (Miller e Blair, 1985).

### **3.2 – O modelo de insumo-produto adaptado.**

#### **3.2.1 – A produção paralela de bens homogêneos e a co-geração.**

Passamos, agora, a derivar um modelo que contemple a produção paralela de bens homogêneos (o mesmo bem produzido por setores distintos) e a co-geração. Para isso, consideremos uma economia agregada em oito setores, a saber: resto da geração de eletricidade ( $Ger$ ), geração de eletricidade térmica a gás natural ( $Geg$ ), geração de eletricidade obtida pela queima do bagaço de cana-de-açúcar ( $Geb$ ), geração de eletricidade total ( $Get$ ), transmissão e distribuição de eletricidade ( $TDE$ ), álcool ( $Al$ ), açúcar ( $Ac$ ) e resto da economia ( $ROE$ ), identificados como setores 1 a 8, respectivamente. O setor resto da geração de eletricidade ( $Ger$ ) é predominantemente hidroelétrico, no caso brasileiro. É importante observar, também, que o setor geração de eletricidade total ( $Get$ ) é um setor fictício, que tem como finalidade absorver a geração de eletricidade pelos outros setores de geração. A Figura 3.2 mostra a matriz de transações entre estes setores.

Figura 3.2: Matriz de transações para uma economia com 8 setores

Matriz de Transações	1 <i>Ger</i>	2 <i>Geg</i>	3 <i>Geb</i>	4 <i>Get</i>	5 <i>TDE</i>	6 <i>Al</i>	7 <i>Ac</i>	8 <i>ROE</i>	Y	X
1 <i>Ger</i>	0	0	0	$z_{14}$	0	0	0	0	0	$X_1$
2 <i>Geg</i>	0	0	0	$z_{24}$	0	0	0	0	0	$X_2$
3 <i>Geb</i>	0	0	0	$z_{34}$	0	0	0	0	0	$X_3$
4 <i>Get</i>	$z_{41}$	$z_{42}$	0	0	$z_{45}$	$z_{46}$	$z_{47}$	$z_{48}$	$y_4$	$X_4$
5 <i>TDE</i>	$z_{51}$	$z_{52}$	0	0	$z_{55}$	$z_{56}$	$z_{57}$	$z_{58}$	$y_5$	$X_5$
6 <i>Al</i>	$z_{61}$	$z_{62}$	0	0	$z_{65}$	$z_{66}$	$z_{67}$	$z_{68}$	$y_6$	$X_6$
7 <i>Ac</i>	$z_{71}$	$z_{72}$	0	0	$z_{75}$	$z_{76}$	$z_{77}$	$z_{78}$	$y_7$	$X_7$
8 <i>ROE</i>	$z_{81}$	$z_{82}$	0	0	$z_{85}$	$z_{86}$	$z_{87}$	$z_{88}$	$y_8$	$X_8$
$W^T$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	0	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$		
$X^T$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$		

As condições de equilíbrio são mantidas se as despesas de um setor são iguais às suas receitas. No modelo, as despesas estão relacionadas à tecnologia de produção. Exceto para o setor 4, a tecnologia é condizente com a função de produção de Leontief, isto é, estamos admitindo que se o valor total da produção de um setor é multiplicado por um fator  $\phi$ , então a utilização de todos os insumos (incluindo o valor adicionado) pelo setor também é multiplicada por  $\phi$ . Esta condição é coerente com a definição de coeficientes técnicos constantes na equação (3.3).

Para a produção de bens homogêneos, consideramos que os setores *Ger*, *Geg* e *Geb*, embora distintos, produzem o mesmo bem, isto é, esses três setores produzem o bem geração de eletricidade. Em termos técnicos, para o setor *Get* é indiferente se o insumo geração de eletricidade é fornecido por qualquer combinação daqueles três setores. Deste modo:

$$X_4 = z_{14} + z_{24} + z_{34} \quad (3.7)$$

Em nosso modelo, todo setor que consome geração de eletricidade a consumirá do setor *Gen*. Então, toda a produção dos três setores que geram eletricidade será destinada exclusivamente ao setor *Gen*. Logo:

$$z_{14} = X_1 \quad (3.8)$$

$$z_{24} = X_2 \quad (3.9)$$

$$z_{34} = X_3 \quad (3.10)$$

Substituindo (3.8), (3.9) e (3.10) em (3.7), teremos:

$$X_1 + X_2 + X_3 = X_4 \quad (3.11)$$

Isso termina a caracterização da produção de um mesmo bem por mais de um setor. Como visto acima, o artifício consiste em criar um setor fictício que absorve toda a produção dos setores produzindo o bem comum, distribuindo-o aos demais setores da economia.

Já o processo de co-geração é caracterizado pelo fato de a geração de eletricidade a partir do bagaço de cana-de-açúcar ocorrer simultaneamente à produção de álcool ou açúcar nas usinas. Isso contraria o modelo básico, que prevê que cada setor produz apenas um bem.

No modelo aqui desenvolvido, consideramos que uma fração da produção do setor de álcool ( $\alpha_6.X_6$ ) somada a uma fração da produção do setor de açúcar ( $\alpha_7.X_7$ ) correspondem à produção de eletricidade a partir do bagaço de cana (*Geb*). Isso quer dizer que:

$$X_3 = \alpha_6.X_6 + \alpha_7.X_7 \quad (3.12)$$

Observando a Figura 3.2, constatamos que a única despesa do setor 3 (geração de eletricidade por bagaço de cana) se refere aos fatores primários de produção ( $w_3$ ), pois admitimos que a oferta de excedentes de eletricidade pelos setores álcool e açúcar ocorre com a substituição de cadeiras, turbinas e geradores (fator capital) e com o uso adicional de mão-de-obra (fator trabalho). Na equação (3.12), é correto afirmar também que:

$$X_3 = w_3 = \alpha_6.X_6 + \alpha_7.X_7 \quad (3.13)$$

Em um modelo de insumo-produto padrão com oito setores, a Equação (3.5) nos conduziria a um sistema linear com 8 equações e 16 variáveis, sendo as 8 variáveis correspondentes ao vetor  $X$  endógenas e as 8 variáveis correspondentes à demanda final  $Y$  exógenas. A seguir, veremos como adaptar o modelo de insumo-produto para se fazer os choques propostos utilizando a produção paralela de bens homogêneos e a co-geração.

### 3.2.2 – O modelo com choques na demanda final e na produção.

Ainda com relação à economia com 8 setores mostrada na Figura 3.2 e de acordo com as hipóteses apresentadas anteriormente, podemos utilizar o conjunto de equações (3.4) para os setores *Get*, *TDE*, *AI*, *Ac* e *ROE* (setores 4, 5, 6, 7 e 8 respectivamente), que adicionadas às equações (3.11) e (3.12), nos fornece o sistema abaixo:

$$\begin{cases} 1.X_1 + 1.X_2 + 1.X_3 - 1.X_4 + 0.X_5 + 0.X_6 + 0.X_7 + 0.X_8 = 0 \\ 0.X_1 + 0.X_2 + 1.X_3 + 0.X_4 + 0.X_5 - \alpha_6.X_6 - \alpha_7.X_7 + 0.X_8 = 0 \\ a_{41}.X_1 + a_{42}.X_2 + 0.X_3 - 1.X_4 + a_{45}.X_5 + a_{46}.X_6 + a_{47}.X_7 + a_{48}.X_8 = -Y_4 \\ a_{51}.X_1 + a_{52}.X_2 + 0.X_3 + 0.X_4 + (a_{55}-1).X_5 + a_{56}.X_6 + a_{57}.X_7 + a_{58}.X_8 = -Y_5 \\ a_{61}.X_1 + a_{62}.X_2 + 0.X_3 + 0.X_4 + a_{65}.X_5 + (a_{66}-1).X_6 + a_{67}.X_7 + a_{68}.X_8 = -Y_6 \\ a_{71}.X_1 + a_{72}.X_2 + 0.X_3 + 0.X_4 + a_{75}.X_5 + a_{76}.X_6 + (a_{77}-1).X_7 + a_{78}.X_8 = -Y_7 \\ a_{81}.X_1 + a_{82}.X_2 + 0.X_3 + 0.X_4 + a_{85}.X_5 + a_{86}.X_6 + a_{87}.X_7 + (a_{88}-1).X_8 = -Y_8 \end{cases} \quad (3.14)$$

Observamos que o sistema (3.14) possui 7 equações com 13 variáveis, sendo 8 variáveis correspondentes ao vetor  $X$  ( $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$ ) e 5 variáveis correspondentes ao vetor  $Y$  ( $Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8$ ), pois adotamos  $Y_1 = Y_2 = Y_3 = 0$ . Portanto, devemos escolher 6 variáveis como sendo exógenas ao modelo, que para os choques propostos serão:  $X_1, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7$  e  $Y_8$ . Conseqüentemente, teremos 7 variáveis endógenas:  $X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$ . Reescrevendo o sistema (3.14) em sua forma matricial, de tal modo que as variáveis endógenas se posicionem do lado esquerdo e as variáveis exógenas do lado direito, obtemos:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -\alpha_6 & -\alpha_7 & 0 \\ a_{42} & 0 & -1 & a_{45} & a_{46} & a_{47} & a_{48} \\ a_{52} & 0 & 0 & (a_{55}-1) & a_{56} & a_{57} & a_{58} \\ a_{62} & 0 & 0 & a_{65} & (a_{66}-1) & a_{67} & a_{68} \\ a_{72} & 0 & 0 & a_{75} & a_{76} & (a_{77}-1) & a_{78} \\ a_{82} & 0 & 0 & a_{85} & a_{86} & a_{87} & a_{88} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -a_{41} & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -a_{51} & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -a_{61} & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -a_{71} & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -a_{81} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \\ Y_7 \\ Y_8 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Chamando a matriz dos coeficientes do primeiro membro (das variáveis endógenas) de **M** e a matriz dos coeficientes das variáveis exógenas de **N**, a solução de (3.15) é dada por:

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \end{bmatrix} = \mathbf{M}^{-1} \cdot \mathbf{N} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \\ Y_7 \\ Y_8 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Generalizando, para uma economia com  $n$  setores, teríamos, *a priori*,  $n$  equações e  $(2.n)$  variáveis, através da abordagem do modelo de insumo-produto padrão. Para os propósitos deste estudo, dos  $n$  setores escolhidos, 3 setores serão de geração de eletricidade (*Ger*, *Geg* e *Geb*), com suas respectivas demandas finais nulas, implicando a redução de três variáveis ( $Y_1$ ,  $Y_2$  e  $Y_3$ , no exemplo citado para a economia com 8 setores) e três equações.

Ainda mais, dos  $n$  setores, um deles é o setor de geração de eletricidade total (*Get*), que, por ter como insumos somente os produtos dos setores *Get*, *Geg* e *Geb*, fornece mais uma equação, a (3.11).

Finalmente, o setor *Geb* é um setor que fornece seu produto através do processo de co-geração, o que nos adiciona uma outra equação ao modelo, a (3.12).



Portanto, teremos  $(n - 1)$  equações e  $(2.n - 3)$  variáveis. Para ter solução, o modelo linear proposto deve ter  $(n - 1)$  variáveis endógenas e  $(n - 2)$  variáveis exógenas. Para  $n = 8$ , tivemos 7 equações e 6 variáveis exógenas, conforme deduzido anteriormente.

Para o objetivo deste trabalho, os choques e os impactos são realizados do seguinte modo:

- Restrição (exógena) na produção do setor Resto da geração de eletricidade ( $X_{Ger}$ );
- Substituição parcial da produção de veículos a gasolina por veículos a álcool (ou veículos bicomcombustíveis), e variação (exógena) na demanda final por açúcar, o que implicará em:
  - Aumento na demanda (exógena) por álcool combustível ( $Y_{álcool}$ );
  - Redução na demanda (exógena) por gasoálcool ( $Y_{gasoálcool}$ );
  - Aumento na oferta de geração de eletricidade a partir do bagaço da cana-de-açúcar ( $X_{Geb}$ ), dada endogenamente, devido à maior disponibilidade de bagaço de cana decorrente do aumento da produção de álcool;
- Restrição (exógena) na demanda final por eletricidade ( $Y_{Get}$  e  $Y_{TDE}$ );
- Impacto (exógeno) na geração de eletricidade a partir do gás natural ( $X_{Get}$ );

Outros impactos a serem destacados serão:

- Balanço sobre alteração de empregos dos setores envolvidos;
- Resultado sobre o novo nível de produção e PIB dos setores.

A abordagem proposta requer a análise específica sobre os seguintes produtos (setores) da economia: resto da geração de eletricidade (predominantemente hidroelétrica), geração termoelétrica a partir de gás natural, geração de eletricidade a partir do bagaço de cana, álcool, açúcar, gasoálcool, transmissão e distribuição de eletricidade e gás natural.

## 4 – Construção da matriz de transações e fechamento do modelo.

*“Tudo é ousado para quem a nada se atreve.”  
(Fernando Pessoa)*

Nesta seção, descrevemos os procedimentos utilizados para gerar a matriz de transações utilizada no modelo apresentado na seção anterior, como também apresentamos os resultados decorrentes de algumas simulações propostas, sempre no contexto da análise de insumo-produto.

### 4.1 – Construção da matriz de transações<sup>11</sup>.

Por razões didáticas, o modelo de insumo-produto adaptado apresentado no capítulo anterior possui apenas 8 setores. Passamos, agora, a trabalhar com um modelo mais completo, contemplando 27 setores produtivos, 6 agentes compondo a demanda final (*dummy* financeiro<sup>12</sup> (DF), formação bruta de capital fixo (FBCF), exportações (EXP), variação de estoques (VE), gastos do governo (GOV), consumo das famílias (FAM)), importações, impostos indiretos líquidos, remuneração dos fatores primários (trabalho e capital), impostos diretos e a quantidade de pessoal ocupado em cada setor da economia.

Os resultados das simulações feitas com um modelo de insumo-produto são influenciados pelo número de setores utilizados. Um modelo que usa um nível de agregação maior apresenta, normalmente, um viés em relação àquele que utiliza um nível de agregação menor<sup>13</sup>. Poderíamos pensar, a princípio, em usar somente os setores de interesse específico para um determinado estudo e agregar todos os demais em um único setor.

---

<sup>11</sup> O algoritmo utilizado (implementado em MATLAB) para a construção da matriz de transações encontra-se disponível no Apêndice A.3.

<sup>12</sup> O setor *dummy* financeiro foi deslocado para a demanda final para não distorcer as informações sobre o fator capital nos outros setores produtivos da economia. Para saber sobre sua função nas matrizes de insumo-produto divulgadas pelo IBGE, consultar Ramos (1996), p. 106.

<sup>13</sup> Este viés não ocorre quando os setores agregados possuem exatamente os mesmos coeficientes técnicos. Este assunto é tratado em detalhes em Miller e Blair (1985).

O nível de agregação escolhido foi determinado em função dos setores diretamente relacionados ao interesse do trabalho: os setores de geração de eletricidade, o setor de transmissão e distribuição de eletricidade, os setores diretamente envolvidos com o setor sucroalcooleiro (álcool, açúcar e cana-de-açúcar), os setores energéticos do refino do petróleo, os setores obtidos de desagregações setoriais (como o resto da agropecuária), e aqueles tratados normalmente em estudos econômicos devido à sua importância na economia, como a construção civil.

A Tabela 4.1 apresenta o nível de agregação setorial usado. A agregação dos setores 15, 16, 17, 18 e 19 foi feita seguindo-se a correspondência entre os setores nas matrizes do IBGE (IBGE, 1999) e o tradutor matriz de insumo-produto em categorias de uso (Andrade e Najberg, 1997).

Para ser implementado, o modelo de insumo-produto pressupõe, como já mencionado, que há uma correspondência biunívoca entre setor e produto. Entretanto, os dados disponíveis pelo IBGE mostram a produção (matriz **V**) e o consumo intermediário (matriz **U**) dos setores em produtos. Além disto, a maior parte dos setores da economia produz mais de um produto. Faz-se necessário, portanto, a partir das matrizes disponíveis pelo IBGE, obter a matriz adaptada de consumo intermediário entre os setores.

Neste estudo, consideramos o enfoque setor *versus* setor e tecnologia baseada na indústria<sup>14</sup>, o que significa dizer que estamos supondo que os setores mantêm a sua participação no mercado de produtos constante. Do ponto de vista matemático, esta hipótese implica na normalização da matriz **V** por colunas.

---

<sup>14</sup> São possíveis 8 combinações diferentes de enfoque. A este respeito, ver Miller e Blair (1985).

<b>Tabela 4.1: Correspondência entre os setores utilizados no estudo</b>			
<b>Nº</b>	<b>Setor da dissertação</b>	<b>Setor IBGE (a partir de 1990)</b>	<b>Disponibilidade no IBGE</b>
1	Resto da geração de eletricidade	Serviços industriais de utilidade pública	Não
2	Geração eletricidade por gás natural	Serviços industriais de utilidade pública	Não
3*	Geração eletricidade por bagaço de cana	Serviços industriais de utilidade pública	Não
4*	Geração de eletricidade total	Serviços industriais de utilidade pública	Não
5	Transm. e distrib. de eletricidade	Serviços industriais de utilidade pública	Não
6	Álcool	Elementos químicos	Não
7	Fabricação de açúcar	Indústria de açúcar	Sim
8	Cana-de-açúcar	Agropecuária	Não
9	Petróleo e outros	Petróleo e outros	Sim
10	Gás natural	Petróleo e outros	Não
11*	Gasóilcool	Comércio	Não
12	Refino do petróleo	Refino do petróleo	Sim
13	Resto da agropecuária	Agropecuária	Não
14	Extrativa mineral	Extrativa mineral	Sim
15	Intermediário semi-elaborado	Minerais não metálicos, Madeira e mobiliário, Papel e gráfica	Sim
16	Resto intermediário elaborado	Siderurgia, Metalurgia não ferrosos, Outros metalúrgicos, Indústria da borracha, Elementos químicos, Químicos diversos, Artigos de plástico, Indústria têxtil	Não
17	Bens de consumo duráveis	Material elétrico, Equipamentos eletrônicos	Sim
18	Resto bens de consumo não duráveis	Farmacêutica e de perfumaria, Artigos do vestuário, Fabricação de calçados, Indústria do café, Beneficiamento de produtos vegetais, Abate de animais, Indústria de laticínios, Fabricação de óleos vegetais, Outros produtos alimentares, Indústrias diversas	Sim
19	Resto bens de capital	Máquinas e tratores, Outros veículos e peças	Não
20	Ônibus e caminhões	Automóveis, caminhões e ônibus	Não
21	Automóveis (veículos leves)	Automóveis, caminhões e ônibus	Não
22	Saneamento básico, coleta e trat. Lixo	Serviços industriais de utilidade pública	Não
23	Construção civil	Construção civil	Sim
24	Administração pública	Administração pública	Sim
25	Resto outros serviços	Comunicações, Instituições financeiras, Serviços prestados às famílias, Serviços prestados às empresas, Aluguel de imóveis, Serviços privados não mercantis	Sim
26	Comércio	Comércio	Não
27	Transportes	Transportes	Sim

\* Observação: desagregados pelo autor.

Seja a matriz de transações apresentada na Figura 4.1. As matrizes **Z** e **Y** são matrizes fictícias, que queremos determinar. As outras matrizes são disponíveis nas tabelas da matriz de insumo-produto divulgadas pelo IBGE. Fazendo-se o equilíbrio entre a oferta de produtos pelos setores produtivos na matriz de produção (**V**) e o destino dos produtos na matriz de uso (**U**), como demonstrado no Apêndice A.1, chegamos a:

Figura 4.1: Matriz de transações				
ITEM	Produtos	Setores	Demanda final	Produção total
Produtos		<b>U</b>	<b>E</b>	<b>Q</b>
Setores	<b>V</b>	<b>Z</b>	<b>Y</b>	<b>X</b>
Valor Adicionado		<b>W</b>		
Total das despesas	<b>Q<sup>T</sup></b>	<b>X<sup>T</sup></b>		

$$\mathbf{Z} = \mathbf{V} \cdot (\hat{\mathbf{Q}})^{-1} \cdot \mathbf{U} \quad (7.10)$$

e

$$\mathbf{Y} = \mathbf{V} \cdot (\hat{\mathbf{Q}})^{-1} \cdot \mathbf{E} \quad (7.11)$$

em que  $(\hat{\mathbf{Q}})^{-1}$  é a matriz inversa da matriz diagonal obtida a partir do vetor **Q**, sendo os elementos da diagonal principal extraídos do vetor **Q**.

A base de dados no presente trabalho refere-se ao ano de 1999, e foi praticamente toda estimada, pois até a data em que este trabalho estava sendo concluído, a matriz de insumo-produto mais recente divulgada pelo IBGE (IBGE, 1999) correspondia ao ano de 1996. Além dessa questão de atualização, há ainda o problema da indisponibilidade de vários setores estudados neste trabalho.

Dos 26 setores apresentados na Tabela 4.1 (estamos omitindo o setor 4 – geração de eletricidade total), 15 setores estão agregados a outros.

É importante observar que o setor 1 (resto da geração de eletricidade) corresponde, predominantemente, à geração hidroelétrica, pois de toda a geração em 1999, estamos subtraindo somente a geração a gás natural. Em 1999 (MME, 2004), 88,1% de toda a geração foi hidroelétrica e 0,6% foi obtida a partir do gás natural.

A seguir, apresentamos as etapas cumpridas para obtermos a matriz de transações necessária para implementar o modelo, que está disponível no apêndice A.2:

1. Inicialmente, partimos de uma matriz de transações estimada para o ano de 1999, gentilmente cedida por Joaquim J. M. Guilhoto, com 24 setores (os 27 setores da Tabela 4.1, exceto os setores 3, 4 e 11);
2. Inserimos o setor “geração de eletricidade total”, correspondendo ao setor 4. Todos os setores que consumiam geração de eletricidade dos setores 1 e 2 passam a consumi-la somente do setor 4; toda a produção dos setores 1 e 2 é destinada ao setor 4. Este procedimento é coerente com o matriz de transações apresentada na seção 3.2.1 (Figura 3.2);
3. Desagregamos o setor gasoálcool (setor 11 na Tabela 4.1) do setor comércio. Para estimarmos a tecnologia do setor, utilizamos as informações da matriz de insumo-produto de 1996; admitimos que os insumos utilizados para a produção do setor gasoálcool correspondem aos produtos gasolina pura e álcool de cana e cereais.

O valor da produção do setor corresponde ao valor do produto gasoálcool. As informações referentes ao valor da remuneração do fator trabalho foram obtidas através de pesquisa no Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes (SINDICOM, 2005). A remuneração sobre o fator capital foi obtida por subtração.

Posteriormente, obtivemos a matriz de transações setor X setor para o ano de 1996 com o setor gasoálcool desagregado, utilizando as expressões (7.10) e (7.11). Esta matriz de transações foi utilizada, finalmente, para se obter o vetor de coeficientes técnicos do setor gasoálcool, que foi empregado para desagregar o setor nos dados disponíveis referentes ao ano de 1999.

Com tais procedimentos, obtemos uma matriz com 26 setores (todos os 27 da Tabela 4.1, exceto o setor geração de eletricidade por bagaço de cana) com pequenos desequilíbrios em alguns setores, que possuem suas receitas distintas de seus gastos. Então, aplicamos um método numérico para obtermos o equilíbrio, o método biproporcional de ajuste (RAS), descrito em detalhe em Miller e Blair (1985);

4. Inserimos, então, o setor “geração de eletricidade por bagaço de cana”, identificado como setor 3 na Tabela 4.1. Como podemos notar no sistema de equações (3.15), a inserção deste setor é obtida pelo próprio modelo, através da utilização dos parâmetros  $\alpha_6$  e  $\alpha_7$ , que refletem a disponibilidade de bagaço pelos setores álcool e açúcar, respectivamente, para a produção de eletricidade. O valor da produção do setor consiste na remuneração dos fatores trabalho e capital. Os valores dos parâmetros  $\alpha_6$  e  $\alpha_7$  foram obtidos tomando-se como referência a instalação em uma usina padrão uma caldeira de 61 ata de pressão e um gerador de extração controlada e condensação de 42,687MW, como descrito por Scaramucci et al. (2002).

A disponibilidade de bagaço pelo setor sucroalcooleiro em 1999, com essa tecnologia, permitiria a instalação de 181,86 usinas-padrão, que ofereceriam 22,26 TWh de energia elétrica, 6,70% do total naquele ano. Nessas condições,  $\alpha_6 = 0,0811$  e  $\alpha_7 = 0,0905$ . Chamamos à atenção que em 1999, embora comercialmente disponível, as usinas de álcool e açúcar, em sua grande maioria, ainda não utilizavam a tecnologia citada. Portanto, a inserção do setor de geração de eletricidade de bagaço de cana, como feita no modelo, não corresponde com a existente de fato em 1999.

É importante destacar que o modelo admite a inserção do setor sucroalcooleiro com outras tecnologias para a co-geração, pois  $\alpha_6$  e  $\alpha_7$  são parâmetros.

#### 4.2 – Fechamento do modelo.

Em seu formato final, o modelo possui 27 setores. Considerando o exposto na seção 3.2.2, teremos 26 equações, 26 variáveis endógenas e 25 variáveis exógenas. Assim, o total de fechamentos matemáticos possíveis seria dado pelo número de combinações de 25 variáveis escolhidas em um total de 51, que corresponde a aproximadamente 248 trilhões de combinações distintas; entretanto, o número de combinações que fariam sentido econômico seria muito menor. A Tabela 4.2 apresenta as variáveis endógenas e exógenas do modelo, sendo  $X_i$  o valor da produção do i-ésimo setor, e  $Y_i$  o valor da demanda final por este setor.

Outro aspecto de fundamental importância refere-se ao condicionamento do sistema linear (3.15). Dependendo do fechamento escolhido, a matriz **M** dos coeficientes das variáveis endógenas pode ser mal condicionada, isto é, a matriz **M** pode estar próxima de uma matriz singular.



Tabela 4.2: Variáveis do Modelo

Setor	Nº	Variável endógena		Nº	Variável exógena
Resto da Geração de eletricidade				1	$X_1$
Geração de eletricidade por gás natural	2	$X_2$			
Geração de eletricidade por bagaço de cana	3	$X_3$			
Geração de eletricidade total	4	$X_4$		28	$Y_4$
Transmissão e distribuição de eletricidade	5	$X_5$		29	$Y_5$
Álcool	6	$X_6$		30	$Y_6$
Fabricação de açúcar	7	$X_7$		31	$Y_7$
Cana-de-açúcar	8	$X_8$		32	$Y_8$
Petróleo e outros	9	$X_9$		33	$Y_9$
Gás natural	10	$X_{10}$		34	$Y_{10}$
Gasoálcool	11	$X_{11}$		35	$Y_{11}$
Refino do petróleo	12	$X_{12}$		36	$Y_{12}$
Resto da agropecuária	13	$X_{13}$		37	$Y_{13}$
Extrativa mineral	14	$X_{14}$		38	$Y_{14}$
Intermediário semi-elaborado	15	$X_{15}$		39	$Y_{15}$
Resto intermediário elaborado	16	$X_{16}$		40	$Y_{16}$
Bens de consumo duráveis	17	$X_{17}$		41	$Y_{17}$
Resto bens de consumo não duráveis	18	$X_{18}$		42	$Y_{18}$
Resto bens de capital	19	$X_{19}$		43	$Y_{19}$
Ônibus e caminhões	20	$X_{20}$		44	$Y_{20}$
Automóveis (veículos leves)	21	$X_{21}$		45	$Y_{21}$
Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	22	$X_{22}$		46	$Y_{22}$
Construção civil	23	$X_{23}$		47	$Y_{23}$
Administração pública	24	$X_{24}$		48	$Y_{24}$
Resto outros serviços	25	$X_{25}$		49	$Y_{25}$
Comércio	26	$X_{26}$		50	$Y_{26}$
Transportes	27	$X_{27}$		51	$Y_{27}$

Quando mal condicionado, pequenas mudanças nos coeficientes ou nos termos independentes podem ocasionar grandes mudanças na solução do sistema (Ruggiero e Lopes, 1998). Portanto, é desejável obtermos um fechamento onde o sistema linear a ser resolvido seja bem condicionado.

Uma medida precisa do condicionamento do sistema é o *número de condição* da matriz  $\mathbf{M}$ ,  $\text{cond}(\mathbf{M})$ , dado por:

$\text{cond}(\mathbf{M}) = \|\mathbf{M}\| \cdot \|\mathbf{M}^{-1}\|$ , onde  $\|\cdot\|$  é uma norma de matrizes (Golub e Van Loan, 1989).

Quanto menor o número de condição de  $\mathbf{M}$ , melhor o condicionamento do sistema linear associado. A situação mais favorável corresponde a  $\text{cond}(\mathbf{M}) = 1$ , valor associado ao condicionamento da matriz identidade. Sistemas mal condicionados apresentam *número de condição* superiores a  $10^{15}$ .

Para os propósitos do estudo, escolhemos como variáveis endógenas as variáveis de número 2 a 27 apresentadas na Tabela 4.2, correspondendo ao valor da produção dos setores 2 a 27 apresentados na Tabela 4.1. Desse modo, os choques são realizados sobre o valor da produção do setor resto da geração de eletricidade, e sobre o valor da demanda final dos setores 4 a 27.

Com este fechamento, obtivemos uma matriz  $\mathbf{M}$  com *número de condição* igual a 5,6, correspondendo a um sistema linear muito bem condicionado.

## 5 – Resultados.

*“A paciência é amarga, mas seus frutos são doces.”  
(Jean Jacques Rousseau)*

### 5.1 – Resultados de algumas políticas.

Apresentamos, nesta seção, os resultados do modelo com relação à simulação de alguns choques nos setores relacionados ao setor sucroalcooleiro.

#### 5.1.1 – Racionamento no setor resto da geração de eletricidade com co-geração.

Estamos admitindo, neste cenário, que um racionamento no setor resto da geração de eletricidade seria atendido pela geração distribuída pelo setor sucroalcooleiro. No modelo, mantemos todas as variáveis exógenas no mesmo nível inicial, exceto o valor da produção do setor 1, que foi reduzido até que o valor da geração de eletricidade por gás natural não se alterasse. O modelo responde que isto ocorre a um nível de racionamento de 8,558%.

Este cenário está sendo admitido como referência para a inserção do setor responsável pela geração de excedentes de eletricidade a partir de bagaço, na economia, sendo usado nas seções seguintes para a análise de multiplicadores e para a estrutura de ligação entre os setores. A matriz de transações referente a esta situação é apresentada no Apêndice A.2.

A Tabela 5.1 mostra os impactos totais sobre os níveis de valor da produção, empregos e PIB sobre a economia decorrentes desta inserção. Observamos que os seus valores permanecem praticamente inalterados em relação à situação inicial.

Tabela 5.1: Impactos da inserção da co-geração do setor sucroalcooleiro na economia

VALOR DA PRODUÇÃO		EMPREGO		PIB	
Variação Total (R\$ 1.000,00)		Variação Total		Variação Total (R\$ 1.000,00)	
-920.343	-0,0540%	13.807	0,0221%	71.651	0,0074%

Os resultados da Tabela 5.1 são agregados dos 27 setores do modelo. Destacamos, nas Tabelas 5.2 e 5.3, as principais variações de emprego e PIB, respectivamente, observados nos setores.

Tabela 5.2: Variação de emprego - racionamento com co-geração

Nº	Setor	Variação relativa	Variação absoluta
1	Resto da geração de eletricidade	-8,56%	-5.166
25	Resto outros serviços	-0,03%	-5.046
26	Comércio	-0,02%	-2.203
13	Resto da agropecuária	-0,01%	-804
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	-0,82%	-503
19	Resto bens de capital	-0,08%	-490
27	Transportes	-0,02%	-416
16	Resto intermediário elaborado	-0,02%	-349
15	Intermediário semi-elaborado	-0,02%	-329
3	Geração de eletricidade por bagaço de cana		30.144

Observamos que há redução no nível de empregos em todos os setores, exceto na geração de eletricidade por bagaço de cana. Os setores com maior queda no nível absoluto de emprego são os setores resto da geração de eletricidade e resto – outros serviços e comércio.

Tabela 5.3: Variação do PIB (R\$ 1.000,00) - racionamento com co-geração

Nº	Setor	Variação relativa	Variação absoluta
1	Resto da geração de eletricidade	-8,56%	-1.052.043
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	-0,82%	-108.415
25	Resto outros serviços	-0,03%	-83.204
19	Resto bens de capital	-0,08%	-21.529
12	Refino do petróleo	-0,07%	-18.578
26	Comércio	-0,02%	-14.827
16	Resto intermediário elaborado	-0,02%	-11.534
23	Construção civil	-0,01%	-6.513
9	Petróleo e outros	-0,07%	-6.348
3	Geração de eletricidade por bagaço de cana		1.427.409

Com relação ao PIB, observamos uma situação semelhante, onde somente o setor de eletricidade por bagaço de cana exibe aumento neste quesito. As principais reduções, em valores absolutos, ocorrem nos setores resto da geração de eletricidade, transmissão e distribuição de eletricidade e resto – outros serviços.

#### 5.1.2 – Racionamento no setor resto da geração de eletricidade sem a co-geração.

Comparamos, nesta seção, o mesmo nível de racionamento da seção anterior, mas agora sem geração de excedentes pelo setor sucroalcooleiro. Estamos admitindo, neste cenário, que um racionamento de 8,558% no setor resto da geração de eletricidade será atendido pelo setor geração de eletricidade por gás natural. No modelo, mantemos todas as variáveis exógenas no mesmo nível inicial, exceto a produção do setor 1.

Comparando os resultados apontados na Tabela 5.4 com os da Tabela 5.1, observamos que a maior diferença ocorre na variação de empregos. Com a geração de bagaço atendendo ao racionamento, são criados 13.807 novos empregos; com a geração de eletricidade por gás natural respondendo a esta restrição, são criados somente 145 novos empregos na economia como um todo. Destacamos, também, a diferença entre os impactos no PIB; com a geração a partir do bagaço, o PIB aumenta em R\$ 71,65 milhões; porém, com a geração de eletricidade a partir do gás natural, este aumento corresponde a somente R\$ 4,34 milhões.

Tabela 5.4: Impactos de um racionamento sem co-geração

VALOR DA PRODUÇÃO		EMPREGO		PIB	
Variação Total (R\$ 1.000,00)		Variação Total		Variação Total (R\$ 1.000,00)	
-197	0,0000%	145	0,0002%	4.339	0,0005%

As Tabelas 5.5 e 5.6 mostram as principais variações de emprego e PIB observados nos setores no cenário apresentado.

Tabela 5.5: Variação de emprego - racionamento sem co-geração

Nº	Sector	Variação relativa	Variação absoluta
1	Resto da geração de eletricidade	-8,56%	-5.166
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	-0,50%	-306
19	Resto bens de capital	-0,02%	-143
26	Comércio	0,00%	-71
16	Resto intermediário elaborado	0,00%	-46
6	Álcool	0,05%	13
10	Gás natural	2,01%	53
8	Cana-de-açúcar	0,02%	109
25	Resto outros serviços	0,00%	219
2	Geração de eletricidade por gás natural	1517,83%	5.567

Na Tabela 5.5, podemos notar que praticamente todo o aumento no nível absoluto de empregos observado no setor 2 é perdido no setor 1.

É interessante observar que o setor gás natural apresenta um aumento de 2,01% em seu nível de emprego, enquanto o setor geração de eletricidade por gás natural oferece aumento muitíssimo maior, de 1.517,83%. Analisando a estrutura de dados do modelo, observamos que o gás natural responde por 1,20% do valor da produção da geração a partir do gás natural. Além do mais, originalmente 97,96% da produção do setor gás natural tem como destino o setor refino do petróleo. Por estas duas razões, no modelo, o setor gás natural é praticamente insensível a variações no valor da produção da geração de eletricidade por gás natural. No futuro, seria interessante fazer uma revisão da tabela de insumo-produto aproximada de 1999<sup>15</sup>.

As mesmas observações em relação às variações de emprego são pertinentes com relação às variações no PIB.

<sup>15</sup> A estrutura tecnológica do setor gás natural foi estimada a partir da matriz de insumo-produto de 1996 (última matriz divulgada pelo IBGE até a conclusão deste trabalho), o que explica a insensibilidade do setor em relação aos choques realizados no setor geração de eletricidade a partir do gás natural.

Tabela 5.6: Variação do PIB (R\$ 1.000,00) - racionamento sem co-geração

Nº	Setor	Variação relativa	Variação absoluta
1	Resto da geração de eletricidade	-8,56%	-1.052.043
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	-0,50%	-65.891
12	Refino do petróleo	-0,05%	-14.138
19	Resto bens de capital	-0,02%	-6.286
9	Petróleo e outros	-0,06%	-4.922
8	Cana-de-açúcar	0,02%	703
6	Álcool	0,05%	1.726
25	Resto outros serviços	0,00%	3.618
10	Gás natural	2,01%	16.074
2	Geração de eletricidade por gás natural	1517,83%	1.128.460

### 5.1.3 – Impactos decorrentes do aumento da produção de álcool com co-geração.

Com a penetração recente dos veículos bicombustíveis no mercado nacional, como citado no Capítulo 2, e face às possibilidades de exportação de álcool, analisamos, nesta seção, alguns impactos decorrentes de um aumento de 100% no valor da produção de álcool. No fechamento adotado, como o valor da produção do setor álcool é uma variável endógena, fizemos um choque na demanda final do setor, que é uma variável exógena, até que o valor da produção de álcool dobrasse. O choque necessário corresponde a um aumento de 524,00% na demanda final pelo setor.

Aumentamos, também, a demanda final por geração de eletricidade total, e transmissão e distribuição de eletricidade (variáveis exógenas), até que a variação na produção de geração de eletricidade por gás natural (variável endógena) fosse nula; isto ocorre com um aumento de 34,06% na demanda final daqueles dois setores.

Neste choque estamos simulando, com a hipótese da geração de eletricidade excedente por co-geração no setor sucroalcooleiro, qual seria o aumento admitido no consumo de eletricidade na demanda final em decorrência do setor álcool duplicar o seu tamanho.

A Tabela 5.7 mostra que seriam gerados em toda a economia mais de 500.000 empregos, com um aumento do PIB de aproximadamente 1,31%.

Tabela 5.7: Impactos da duplicação da produção de álcool sem racionamento

VALOR DA PRODUÇÃO		EMPREGO		PIB	
Variação Total (R\$ 1.000,00)		Variação Total		Variação Total (R\$ 1.000,00)	
22.098.263	1,2961%	505.252	0,8095%	12.616.959	1,3090%

As Tabelas 5.8 e 5.9 mostram em maior detalhe quais os setores que apresentaram maiores variações em função do choque apresentado.

Tabela 5.8: Variação de emprego - duplicação da produção de álcool sem racionamento

Nº	Setor	Variação relativa	Variação absoluta
19	Resto bens de capital	0,65%	3.829
7	Fabricação de açúcar	7,35%	5.505
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	13,68%	8.354
16	Resto intermediário elaborado	0,92%	12.875
27	Transportes	0,60%	14.305
13	Resto da agropecuária	0,18%	25.344
6	Álcool	100,00%	28.866
25	Resto outros serviços	0,17%	32.188
3	Geração de eletricidade por bagaço de cana		46.234
26	Comércio	0,53%	49.304
8	Cana-de-açúcar	52,80%	266.815



Podemos notar, na Tabela 5.8, que o setor que apresenta maior variação absoluta na oferta de empregos é o setor cana-de-açúcar, correspondendo a mais de 50% do aumento total de empregos na economia. Isto se deve pelo fato do setor ser intensivo na utilização de mão-de-obra.

O aumento no número de empregos no setor álcool é superado, ainda, pelos setores comércio e resto – outros serviços, que, embora apresentem pouco crescimento relativo, são setores também intensivos em mão-de-obra.

Tabela 5.9: Variação do PIB (R\$ 1.000,00) - duplicação da produção de álcool sem racionamento

<b>Nº</b>	<b>Setor</b>	<b>Variação relativa</b>	<b>Variação absoluta</b>
7	Fabricação de açúcar	7,35%	149.565
27	Transportes	0,60%	155.650
19	Resto bens de capital	0,65%	168.363
12	Refino do petróleo	0,80%	221.770
26	Comércio	0,53%	331.784
16	Resto intermediário elaborado	0,92%	424.999
25	Resto outros serviços	0,17%	530.774
8	Cana-de-açúcar	52,80%	1.726.430
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	13,68%	1.801.308
3	Geração de eletricidade por bagaço de cana		2.189.318
6	Álcool	100,00%	3.823.310

Com relação ao PIB, observamos, na Tabela 5.9, que se destacam os setores diretamente relacionados ao setor álcool, incluindo ele próprio, a geração por bagaço, o setor cana-de-açúcar, e com menor importância, o setor fabricação de açúcar.

#### **5.1.4 – Impactos decorrentes do aumento da produção de álcool com racionamento no setor resto da geração de eletricidade.**

Nesta seção, analisamos os efeitos decorrentes de dobrarmos a produção de álcool, porém, acompanhado de um racionamento no setor resto da geração de eletricidade, sem aumento da demanda final pela geração total de eletricidade e pela transmissão e distribuição de eletricidade. O nível de racionamento imposto é de 11,81%, e foi feito até que o valor da produção da geração de eletricidade por gás natural ficasse inalterado.

O aumento na demanda final por álcool necessária para dobrar seu valor de produção foi de 524,25%, e nestas condições, a Tabela 5.10 mostra os efeitos totais sobre a economia.

Tabela 5.10: Impactos da duplicação da produção de álcool com racionamento

<b>VALOR DA PRODUÇÃO</b>		<b>EMPREGO</b>		<b>PIB</b>	
<b>Variação Total (R\$ 1.000,00)</b>		<b>Variação Total</b>		<b>Variação Total (R\$ 1.000,00)</b>	
<b>15.714.307</b>	<b>0,9216%</b>	<b>459.966</b>	<b>0,7369%</b>	<b>8.637.906</b>	<b>0,8962%</b>

Os resultados da Tabela 5.10 indicam que, com a duplicação da produção de álcool, o setor sucroalcooleiro seria capaz de suprir a oferta de eletricidade para atender a um nível de racionamento de 11,81% na produção do resto da geração de eletricidade, de tal modo que seriam gerados em toda a economia aproximadamente 460.000 empregos, com um aumento do PIB estimado em 0,90%. As Tabelas 5.11 e 5.12 apresentam os setores com os maiores impactos devido ao choque considerados neste cenário.

Novamente, destaca-se, na Tabela 5.11, o setor cana-de-açúcar como o maior gerador de empregos, mesmo sendo o seu crescimento relativo neste quesito correspondente a aproximadamente a metade observado no setor álcool. O setor sucroalcooleiro, em conjunto com o setor cana-de-açúcar, responde pelo crescimento de aproximadamente 347.000 empregos neste cenário, isto é, 75,5% do total.

Tabela 5.11: Variação de emprego - duplicação da produção de álcool com racionamento

Nº	Setor	Variação relativa	Variação absoluta
1	Resto da geração de eletricidade	-11,81%	-7.131
7	Fabricação de açúcar	7,32%	5.479
16	Resto intermediário elaborado	0,85%	11.916
27	Transportes	0,55%	13.218
25	Resto outros serviços	0,10%	17.986
13	Resto da agropecuária	0,17%	23.120
6	Álcool	100,00%	28.867
26	Comércio	0,46%	43.027
3	Geração de eletricidade por bagaço de cana		46.230
8	Cana-de-açúcar	52,78%	266.748

Tabela 5.12: Variação do PIB (R\$ 1.000,00) - duplicação da produção de álcool com racionamento

Nº	Setor	Variação relativa	Variação absoluta
1	Resto da geração de eletricidade	-11,81%	-1.452.354
27	Transportes	0,55%	143.826
7	Fabricação de açúcar	7,32%	148.868
12	Refino do petróleo	0,69%	190.306
26	Comércio	0,46%	289.546
25	Resto outros serviços	0,10%	296.591
16	Resto intermediário elaborado	0,85%	393.327
8	Cana-de-açúcar	52,78%	1.726.001
3	Geração de eletricidade por bagaço de cana		2.189.099
6	Álcool	100,00%	3.823.455

Observamos, na Tabela 5.12, que a variação absoluta do PIB no setor geração de eletricidade por bagaço de cana supera em aproximadamente 50,7% a queda correspondente no setor resto da geração de eletricidade. Este fato se deve porque o valor da produção de eletricidade excedente por co-geração no setor sucroalcooleiro é formado exclusivamente pela remuneração dos fatores trabalho e capital.

Neste cenário, a participação do setor sucroalcooleiro, somado ao setor cana-de-açúcar, é de 78,2% do PIB de todos os setores que apresentam aumentam neste indicador.

O aumento do PIB observado na geração de eletricidade excedente por co-geração, devido à produção de álcool somente, foi de R\$ 1.417,82 milhões, que corresponde a 37,1% do aumento do PIB observado no setor álcool. Ou seja, o PIB do setor álcool, com a presença da co-geração em seu setor, aumenta em 37,1% nesta condição.

#### **5.1.5 – Impactos decorrentes da substituição de gasoálcool por álcool.**

Para poder proceder esta análise, supomos que um veículo movido a álcool tenha 70% da eficiência térmica comparada a um veículo movido a gasoálcool, e que o preço relativo por litro do álcool em relação ao gasoálcool é de 56,60% (MME, 2004). Nestas condições, o custo de combustível por quilômetro rodado em um veículo a álcool é 80,86% do custo de um veículo movido a gasoálcool.

Em 2004, foram comercializados 379.328 veículos novos a álcool (ANFAVEA, 2004). Mantendo-se constante o consumo de álcool por veículo por ano (MME, 2004; ANFAVEA, 2004; ÚNICA, 2005), analisamos os impactos do consumo desses veículos usando somente gasoálcool em comparação com a sua utilização com somente álcool, incluindo a co-geração no setor sucroalcooleiro.

Na hipótese dos veículos consumirem somente gasoálcool, o choque realizado na demanda final por este setor foi de R\$ 673,730 milhões. Com o consumo de somente álcool, o choque equivalente na demanda final do setor álcool foi de R\$ 544,759 milhões. O modelo nos responde, comparando o álcool em relação ao gasoálcool, que seriam criados em toda a economia 28.002 empregos contra 14.329 (praticamente o dobro); entretanto, o aumento do PIB seria de R\$ 537,59 milhões contra R\$ 618,45 milhões.

Outro resultado interessante corresponde à oferta de eletricidade pelo setor sucroalcooleiro. Com o consumo de álcool, seriam ofertados R\$ 47,80 milhões de geração de eletricidade (745,532 GWh); com o consumo de gasoálcool seriam ofertados apenas R\$ 12,62 milhões (196,813 GWh), 26,4% do valor comparado ao álcool.

A Tabela 5.13 mostra os impactos comparados do álcool em relação ao gasoálcool na situação proposta.

Tabela 5.13: Impactos da substituição de gasoálcool por álcool em 379.328 veículos

<b>EMPREGO</b>	<b>PIB</b>	<b>GERAÇÃO DE ELETRICIDADE</b>
<b>Variação absoluta</b>	<b>Variação absoluta (R\$ 1.000,00)</b>	<b>Variação absoluta (GWh)</b>
<b>13.673</b>	<b>-128.971</b>	<b>548,719</b>

As Tabelas 5.14 e 5.15 mostram os setores com as principais reduções e os principais aumentos na variação absoluta do número de empregos e do PIB, respectivamente.

Notemos, na Tabela 5.14, que os setores que mais se destacam pela oferta de emprego são os setores relacionados ao setor sucroalcooleiro, com predominância absoluta do setor cana-de-açúcar, como já mencionado, por ser um setor com intensa utilização de mão-de-obra. Os setores que possuem maior perda absoluta no número de empregos são os setores resto – outros serviços, refino do petróleo e transportes. O setor gasoálcool é o sétimo setor com a maior perda absoluta; este resultado mostra como o modelo capta os efeitos diretos e indiretos na economia, pois poder-se-ia pensar, em um primeiro momento, que o setor mais afetado com a perda dos empregos seria o próprio setor gasoálcool.

As principais reduções do PIB ocorrem nos setores relacionados ao petróleo, e seus valores absolutos superam os aumentos observados no setor sucroalcooleiro e na cana-de-açúcar.

Observamos, na Tabela 5.15, que a maior redução do PIB ocorre no setor refino do petróleo, que é aproximadamente 3 vezes superior à redução observada no próprio setor gasoálcool.

Tabela 5.14: Variação de emprego na substituição de gasoálcool por álcool

<b>Nº</b>	<b>Setor</b>	<b>Variação comparada</b>
<b>25</b>	Resto outros serviços	-648
<b>12</b>	Refino do petróleo	-348
<b>27</b>	Transportes	-284
<b>9</b>	Petróleo e outros	-260
<b>2</b>	Geração de eletricidade por gás natural	-128
<b>7</b>	Fabricação de açúcar	246
<b>13</b>	Resto da agropecuária	707
<b>3</b>	Geração de eletricidade por bagaço de cana	743
<b>6</b>	Álcool	1.337
<b>8</b>	Cana-de-açúcar	12.330

Tabela 5.15: Variação do PIB na substituição de gasoálcool por álcool  
(R\$ 1.000,00)

<b>Nº</b>	<b>Setor</b>	<b>Variação comparada</b>
<b>12</b>	Refino do petróleo	-214.810
<b>9</b>	Petróleo e outros	-67.359
<b>11</b>	Gasoálcool	-53.120
<b>2</b>	Geração de eletricidade por gás natural	-26.021
<b>25</b>	Resto outros serviços	-10.691
<b>16</b>	Resto intermediário elaborado	6.336
<b>7</b>	Fabricação de açúcar	6.675
<b>3</b>	Geração de eletricidade por bagaço de cana	35.184
<b>8</b>	Cana-de-açúcar	79.782
<b>6</b>	Álcool	177.048

Apresentamos na Tabela 5.16 um resumo dos choques e seus principais impactos mostrados nesta seção.

Tabela 5.16: Resumo dos choques

Choque	Variação do Valor da Produção (R\$1.000,00)		Variação no Emprego		Variação no PIB (R\$1.000,00)	
Racionamento no setor resto da geração de eletricidade <u>com</u> co-geração	-920.343	-0,0540%	13.807	0,0221%	71.651	0,0074%
Racionamento no setor resto da geração de eletricidade <u>sem</u> co-geração	-197	0,0000%	145	0,0002%	4.339	0,0005%
Duplicação da produção de álcool <u>com</u> co-geração e <u>sem</u> racionamento de eletricidade	22.098.263	1,2961%	505.252	0,8095%	12.616.959	1,3090%
Duplicação da produção de álcool <u>com</u> co-geração e <u>com</u> racionamento de eletricidade	15.714.307	0,9216%	459.966	0,7369%	8.637.906	0,8962%
Substituição de gasoálcool por álcool em 379.328 veículos leves			13.673		-128.971	

## 5.2 – Multiplicadores de produção, emprego e PIB.

A partir de um modelo insumo-produto é possível obter indicadores que possibilitam caracterizar a importância de cada setor na economia. Dentre eles, os multiplicadores permitem avaliar os impactos ocorridos na economia a partir de mudanças exógenas ao modelo, sendo mais apropriados para projeções no curto prazo, pois as estimativas das componentes da demanda final tendem a ser mais imprecisas quando se consideram períodos maiores (Miller e Blair, 1985).

Podem ser utilizados dois tipos de multiplicadores: tipo I, no qual o consumo das famílias é considerado como exógeno ao modelo e expressa o quanto um setor deverá produzir para que se obtenha uma unidade a mais na demanda final, captando os efeitos diretos e indiretos sobre a cadeia produtiva; tipo II, que considera o consumo das famílias como endógeno ao modelo, captando efeitos diretos, indiretos e induzidos<sup>16</sup>. Neste trabalho, apresentamos os multiplicadores tipo I.

### 5.2.1 – Multiplicador de produção.

O multiplicador de produção do setor  $j$  corresponde ao valor total da produção de todos os setores da economia para atender à variação de uma unidade na demanda final deste setor. O multiplicador de produção do setor  $j$  ( $MP_j$ ) é dado por:

$$MP_j = i^T . B . e_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (5.1)$$

onde:

$e_j$  é o  $j$ -ésimo vetor unitário.

Os multiplicadores de produção são obtidos, neste trabalho, considerando-se o modelo convencional de insumo-produto, bem como o modelo adaptado. No primeiro caso, foi utilizada a matriz inversa de Leontief com a inserção da geração de eletricidade excedente por co-geração no setor sucroalcooleiro, obtida a partir da matriz de transações apresentada no Apêndice A.2.

A crítica com relação à utilização do modelo convencional é que os coeficientes  $\alpha_6$  e  $\alpha_7$ , referentes à disponibilidade de bagaço nos setores álcool e açúcar, respectivamente, não permanecem constantes.

---

<sup>16</sup> Uma abordagem detalhada sobre esses multiplicadores é encontrada em Miller e Blair (1985).



Os multiplicadores obtidos pelo modelo adaptado são calculados fazendo-se um choque de uma unidade monetária na demanda final dos setores. Como, neste modelo, não há demanda final pelos setores 1, 2 e 3, os multiplicadores são avaliados para os setores 4 a 27. A produção do setor resto da geração de eletricidade é mantida sempre nula, de tal modo que a geração de eletricidade necessária para atender ao choque de uma unidade monetária na demanda final de cada setor seja atendida pela geração de eletricidade por gás natural e por bagaço de cana (excedente do processo de co-geração).

Em ambas as abordagens, para evitar uma dupla contagem, foram subtraídos os impactos decorrentes ao setor geração de eletricidade total, pois os seus efeitos correspondem à soma da geração de eletricidade nos setores 1, 2 e 3.

Os resultados são mostrados na Tabela 5.17. Observamos que as diferenças dos resultados produzidos pelos dois modelos são muito pequenas. Os valores são apresentados em ordem decrescente, com destaque para os setores de interesse neste trabalho. Percebemos que os setores gasoálcool e fabricação de açúcar são os setores com os maiores multiplicadores; o valor 2,7463 para o setor gasoálcool deve ser interpretado da seguinte maneira: para atender a R\$ 1,00 de gasoálcool na demanda final, todos os setores da economia terão de produzir R\$ 2,7463.

Tabela 5.17: Multiplicadores de produção

Multiplicadores de produção (Mprod) comparados					
Nº	Setor	Ordem	Adaptado	Convencional	Diferença
11	Gasoolcool	1	2,7463	2,7574	-0,40%
7	Fabricação de açúcar	2	2,2486	2,3164	-2,93%
16	Resto intermediário elaborado	3	2,1919	2,1907	0,06%
18	Resto bens de consumo não duráveis	4	2,1813	2,1812	0,00%
15	Intermediário semi-elaborado	5	2,0015	2,0003	0,06%
21	Automóveis (veículos leves)	6	1,9596	1,9590	0,03%
20	Ônibus e caminhões	7	1,9596	1,9590	0,03%
17	Bens de consumo duráveis	8	1,9518	1,9512	0,03%
27	Transportes	9	1,9183	1,9181	0,01%
6	Álcool	10	1,9167	1,9719	-2,80%
12	Refino do petróleo	11	1,8897	1,8893	0,02%
14	Extrativa mineral	12	1,8341	1,8328	0,07%
19	Resto bens de capital	13	1,8275	1,8268	0,04%
13	Resto da agropecuária	14	1,7311	1,7308	0,01%
22	Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	15	1,7103	1,7017	0,50%
8	Cana-de-açúcar	16	1,7030	1,7028	0,02%
23	Construção civil	17	1,6727	1,6724	0,02%
4	Geração de eletricidade total	18	1,6444	1,5899	3,43%
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	19	1,5796	1,5724	0,46%
26	Comércio	20	1,5344	1,5343	0,01%
9	Petróleo e outros	21	1,4351	1,4346	0,03%
10	Gás natural	22	1,4349	1,4345	0,03%
24	Administração pública	23	1,4154	1,4152	0,02%
25	Resto outros serviços	24	1,3518	1,3516	0,01%
1	Resto da geração de eletricidade	27		1,6331	
2	Geração de eletricidade por gás natural	26		1,6299	
3	Geração de eletricidade por bagaço de cana	25		1,0000	

### 5.2.2 – Multiplicador de emprego.

O multiplicador de emprego do setor  $j$  corresponde ao número total de empregos gerados em todos os setores da economia quando um novo emprego é gerado neste setor.

Seja  $AL_j$  o coeficiente técnico direto de emprego do setor  $j$ , definido como:

$$AL_j = L_j / X_j \quad (5.2)$$

onde  $L_j$  é o número de empregos do setor  $j$

Deste modo, o vetor de coeficientes diretos de empregos ( $\mathbf{AL}^T$ ) é dado por:

$$\mathbf{AL}^T = \mathbf{L}^T \cdot (\hat{\mathbf{X}})^{-1} \quad (5.3)$$

em que  $(\hat{\mathbf{X}})^{-1}$  é a inversa da matriz diagonalizada obtida do vetor  $\mathbf{X}$ .

Suponhamos que o setor  $j$  da economia possua um aumento em sua demanda final, de tal modo a demandar exatamente um emprego em seu setor para atendê-la (efeito direto). Da Equação (5.2), esta demanda adicional será:

$$\Delta Y_j = 1 / AL_j \quad (5.4)$$

Para atender a demanda marginal acima, toda a cadeia produtiva será acionada, e, usando a Equação (3.6) teremos o impacto sobre todos os setores (efeito direto e indireto):

$$\Delta \mathbf{X} = \mathbf{B} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \Delta Y_j \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \mathbf{b}_j \cdot \Delta Y_j \quad (5.5)$$

sendo  $\mathbf{b}_j$  o vetor correspondente à  $j$ -ésima coluna da matriz  $\mathbf{B}$ .

Substituindo (5.4) em (5.5):

$$\Delta \mathbf{X} = \mathbf{b}_j \cdot (1 / AL_j) \quad (5.6)$$

Na Equação (5.6) temos:

$$\Delta X_i = b_{ij} \cdot 1 / AL_j \quad \text{para todo } i \quad (5.7)$$

Usando a Equação (5.2) novamente, podemos calcular o número de empregos necessários para atender  $\Delta X_i$ :

$$\Delta L_i = AL_i \cdot \Delta X_i \quad (5.8)$$

Substituindo (5.7) em (5.8):

$$\Delta L_i = AL_i \cdot b_{ij} \cdot 1/AL_j \quad (5.9)$$

Para determinarmos todos os empregos (diretos e indiretos) necessários para atender à geração de um emprego direto no setor  $j$ , usamos a Equação (5.9) acima, definindo o multiplicador de emprego do setor  $j$  ( $ML_j$ ) como:

$$ML_j = \sum_i \Delta L_i = \mathbf{AL}^T \cdot \mathbf{b}_j \cdot 1/AL_j \quad (5.10)$$

A Equação (5.10), em sua forma matricial, permite definir o vetor multiplicador de empregos:

$$\mathbf{ML}^T = \mathbf{AL}^T \cdot \mathbf{B} \cdot (\hat{\mathbf{AL}})^{-1} \quad (5.11)$$

em que  $(\hat{\mathbf{AL}})^{-1}$  é a inversa da matriz diagonalizada obtida do vetor  $\mathbf{AL}^T$ .

Novamente, calculamos os multiplicadores de emprego considerando a abordagem pelo modelo convencional e pelo modelo adaptado, e o mesmo procedimento foi utilizado com relação à subtração dos valores referentes ao setor geração de eletricidade total, para evitarmos uma dupla contagem. Os resultados são apresentados para os 27 setores, em ordem decrescente, na Tabela 5.18.

Observamos, novamente, que as diferenças entre as duas abordagens são muito pequenas. Em relação aos resultados obtidos, chama a atenção o valor obtido para o setor gasoálcool, muito superior aos valores dos setores refino do petróleo e álcool, que ocupam a segunda e terceira posições, respectivamente.

O resultado 15,565, obtido para o setor álcool, significa que, para cada emprego gerado no setor, a economia, em todos os setores, gera 15,565 empregos.

Tabela 5.18: Multiplicadores de emprego

<b>Multiplicadores de emprego (ML) comparados</b>					
<b>Nº</b>	<b>Setor</b>	<b>Ordem</b>	<b>Adaptado</b>	<b>Convencional</b>	<b>Diferença</b>
11	Gasoálcool	1	166,325	165,018	0,79%
12	Refino do petróleo	2	23,927	23,935	-0,04%
6	Álcool	3	15,565	15,316	1,62%
21	Automóveis (veículos leves)	4	8,279	8,281	-0,02%
20	Ônibus e caminhões	5	8,279	8,281	-0,02%
7	Fabricação de açúcar	6	6,965	6,858	1,56%
10	Gás natural	7	6,742	6,744	-0,04%
9	Petróleo e outros	8	5,895	5,897	-0,04%
17	Bens de consumo duráveis	9	4,163	4,164	-0,02%
18	Resto bens de consumo não duráveis	10	4,151	4,151	0,00%
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	11	4,015	4,048	-0,82%
16	Resto intermediário elaborado	12	3,805	3,806	-0,04%
4	Geração de eletricidade total	13	2,820	2,995	-5,86%
19	Resto bens de capital	14	2,758	2,759	-0,03%
15	Intermediário semi-elaborado	15	2,363	2,363	-0,03%
22	Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	16	2,069	2,082	-0,61%
14	Extrativa mineral	17	2,064	2,065	-0,04%
23	Construção civil	18	1,656	1,657	-0,01%
27	Transportes	19	1,557	1,557	0,00%
24	Administração pública	20	1,538	1,538	-0,01%
13	Resto da agropecuária	21	1,319	1,319	0,00%
25	Resto outros serviços	22	1,283	1,283	0,00%
8	Cana-de-açúcar	23	1,265	1,265	0,00%
26	Comércio	24	1,203	1,203	0,00%
2	Geração de eletricidade por gás natural	25		4,119	
1	Resto da geração de eletricidade	26		4,077	
3	Geração de eletricidade por bagaço de cana	27		1,000	

O valor obtido para o setor gasoálcool é justificado porque o setor possui o menor coeficiente de pessoal ocupado por valor da produção; desse modo, para gerar um emprego no setor, o choque correspondente na demanda final tem de ser elevado, e somando-se o efeito de que este setor possui o maior multiplicador de produção, obtemos um elevado multiplicador de emprego.

É importante sinalizar para o fato de que a utilização dos multiplicadores de emprego, por si só, não justificam uma tomada de decisão para a escolha de uma política que privilegie um setor com multiplicador elevado. Entre outros aspectos, ao se analisar uma política neste quesito, é fundamental observar a base de empregos que o setor possui.

Como mostrado nas simulações das seções 5.1.1 a 5.1.5, o setor cana-de-açúcar apresentou grandes variações na quantidade de emprego, embora seu multiplicador seja 1,265.

### 5.2.3 – Multiplicador de PIB.

Analogamente ao multiplicador de emprego definido anteriormente, o multiplicador de PIB do setor  $j$  corresponde ao nível total de PIB gerado em todos os setores da economia quando uma unidade de PIB é demandada neste setor.

Seja  $AVA_j$  o coeficiente técnico direto do PIB do setor  $j$ , definido como:

$$AVA_j = VA_j / X_j \quad (5.12)$$

onde  $VA_j$  corresponde ao PIB do setor  $j$

Deste modo, o vetor de coeficientes diretos do PIB ( $\mathbf{AVA}^T$ ) é dado por:

$$\mathbf{AVA}^T = \mathbf{VA}^T \cdot (\hat{\mathbf{X}})^{-1} \quad (5.13)$$

Suponhamos que o setor  $j$  da economia possua um aumento em sua demanda final, de tal modo a gerar exatamente uma unidade monetária do PIB em seu setor. Da Equação (5.12), esta demanda final será:

$$\Delta Y_j = 1 / AVA_j \quad (5.14)$$

Usando o mesmo raciocínio na dedução do vetor multiplicador de empregos, definimos o vetor multiplicador do PIB como:

$$\mathbf{MVA}^T = \mathbf{AVA}^T \cdot \mathbf{B} \cdot (\mathbf{AVA})^{-1} \quad (5.15)$$

em que  $(\mathbf{AVA})^{-1}$  é a inversa da matriz diagonalizada obtida do vetor  $\mathbf{AVA}^T$ .

Os multiplicadores obtidos pelo modelo convencional e pelo modelo adaptado foram determinados com as mesmas hipóteses adotadas para os multiplicadores de produção e de emprego. Os resultados são mostrados em ordem decrescente na Tabela 5.19. Notamos, da mesma forma como para os multiplicadores de produção e de emprego, que a diferença entre as duas abordagens é muito pequena.

Tabela 5.19: Multiplicadores do PIB

Multiplicadores do PIB (MVA) comparados					
Nº	Setor	Ordem	Adaptado	Convencional	Diferença
11	Gasoálcool	1	11,0107	10,9998	0,10%
7	Fabricação de açúcar	2	3,5134	3,4938	0,56%
18	Resto bens de consumo não duráveis	3	2,8118	2,8117	0,00%
16	Resto intermediário elaborado	4	2,6344	2,6344	0,00%
21	Automóveis (veículos leves)	5	2,3625	2,3626	0,00%
20	Ônibus e caminhões	6	2,3533	2,3533	0,00%
12	Refino do petróleo	7	2,2620	2,2620	0,00%
15	Intermediário semi-elaborado	8	2,1921	2,1921	0,00%
17	Bens de consumo duráveis	9	2,1444	2,1444	0,00%
6	Álcool	10	2,1432	2,1339	0,44%
27	Transportes	11	2,0350	2,0350	0,00%
14	Extrativa mineral	12	1,9002	1,9003	0,00%
19	Resto bens de capital	13	1,7579	1,7579	0,00%
22	Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	14	1,7441	1,7444	-0,02%
13	Resto da agropecuária	15	1,6094	1,6094	0,00%
4	Geração de eletricidade total	16	1,5644	1,5665	-0,13%
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	17	1,5519	1,5521	-0,02%
8	Cana-de-açúcar	18	1,5455	1,5455	0,00%
23	Construção civil	19	1,5001	1,5001	0,00%
26	Comércio	20	1,4993	1,4992	0,00%
9	Petróleo e outros	21	1,3397	1,3397	0,00%
10	Gás natural	22	1,3396	1,3396	0,00%
24	Administração pública	23	1,3286	1,3286	0,00%
25	Resto outros serviços	24	1,2512	1,2511	0,00%
2	Geração de eletricidade por gás natural	25		1,6499	
1	Resto da geração de eletricidade	26		1,6378	
3	Geração de eletricidade por bagaço de cana	27		1,0000	

Destaca-se, novamente, o setor gasoálcool, que possui um valor praticamente duas vezes superior ao setor fabricação de açúcar, que está em segundo lugar. O valor 2,1432 obtido no setor álcool indica que, para cada R\$ 1,00 do PIB no setor álcool, todos os setores da economia geram um PIB de R\$ 2,1432.

### **5.3 – Índices de ligação, campo de influência e setores-chave.**

A identificação de setores-chave na economia é um importante meio para poder direcionar a implementação de políticas econômicas, que podem estar voltadas para estabelecer a equidade do desenvolvimento entre os setores ou regiões e abordar questões de emprego, crescimento, entre outras.

Dentre os diversos critérios utilizados para esta identificação, usaremos os índices de ligação para trás e para frente de Rasmussen-Hirschman, permitindo situar quais são os setores com maior influência no processo produtivo (Guilhoto et al., 1994). Neste estudo, como estamos trabalhando com um bom nível de desagregação adotaremos, como setores-chave, aqueles que apresentarem índices de ligação para trás e para frente maiores que a unidade.

#### **5.3.1 – Índice de Rasmussen-Hirschmann.**

Dada a matriz inversa de Leontief ( $\mathbf{B}$ ), sejam os escalares  $B^*$  a média de todos os elementos de  $\mathbf{B}$ ,  $B_{*j}$  a soma de todos os elementos da coluna  $j$  de  $\mathbf{B}$  e  $B_{i*}$  a soma de todos os elementos da linha  $i$  de  $\mathbf{B}$ , conforme apresentados nas expressões (5.16) e (5.17), respectivamente:



$$B_{*j} = \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (5.16)$$

$$B_{i*} = \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (5.17)$$

Os índices de ligação para trás ( $U_{*j}$ ) e para frente ( $U_{j*}$ ) do setor  $j$  são dados, respectivamente, por:

$$U_{*j} = \frac{\left[ \frac{B_{*j}}{n} \right]}{B^*} \quad (5.18)$$

$$U_{j*} = \frac{\left[ \frac{B_{j*}}{n} \right]}{B^*} \quad (5.19)$$

Os índices de ligações, neste trabalho, foram calculados usando-se a matriz inversa de Leontief com o modelo convencional, dada a impossibilidade de se estabelecer uma abordagem paralela com o modelo adaptado.

Como realizado para o cálculo dos multiplicadores de produção, emprego e PIB, os índices de ligações foram obtidos descontando-se os valores na inversa de Leontief referentes ao setor geração de eletricidade total, para evitarmos uma dupla contagem.

Comparamos os índices obtidos com os 24 setores iniciais, e com os 27 setores apresentados no Apêndice A.2. Os resultados constam nas Tabelas 5.20 e 5.21.

Para os 24 setores iniciais, são apontados como setores-chave os setores intermediário semi-elaborado e resto intermediário elaborado, com índices de ligações para trás e para a frente maiores que a unidade. Notamos os valores referentes ao índice de ligação para frente de 2,631 para o setor resto intermediário elaborado, 1,837 para o setor resto outros serviços e 1,782 para o setor refino do petróleo, apontando estes setores como demandados pelos demais.

Em relação aos valores da Tabela 5.20, os resultados encontrados para os 27 setores (Tabela 5.21) apontam mais dois setores como setores-chave, a saber, o setor refino do petróleo e o setor resto bens de capital.

Tabela 5.20: Índices de ligação de Rasmussen-Hirschmann - 24 setores

<b>Índices de Ligação de Rasmussen-Hirschmann</b>			
<b>Nº</b>	<b>Setor</b>	<b>U<sub>j</sub></b>	<b>U<sub>j</sub>*</b>
1	Resto da geração de eletricidade	0,8402	1,110
2	Geração de eletricidade por gás natural	0,8400	0,754
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	0,8076	1,034
6	Álcool	1,0133	0,639
7	Fabricação de açúcar	1,1951	0,707
8	Cana-de-açúcar	0,8775	0,950
9	Petróleo e outros	0,7362	0,848
10	Gás natural	0,7361	0,588
12	Refino do petróleo	0,9700	1,782
13	Resto da agropecuária	0,8887	1,091
14	Extrativa mineral	0,9430	0,659
15	Intermediário semi-elaborado	1,0325	1,086
16	Resto intermediário elaborado	1,1281	2,631
17	Bens de consumo duráveis	1,0074	0,685
18	Resto bens de consumo não duráveis	1,1256	0,858
19	Resto bens de capital	0,9422	1,198
20	Ônibus e caminhões	1,0134	0,564
21	Automóveis (veículos leves)	1,0134	0,565
22	Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	0,8745	0,663
23	Construção civil	0,8601	0,661
24	Administração pública	0,7181	0,678
25	Resto outros serviços	0,6929	1,837
26	Comércio	0,9163	1,367
27	Transportes	0,9817	1,043

Comparando essas duas tabelas, notamos que os valores dos índices de ligação para trás para os 27 setores são maiores, em média, 7,9% aos seus respectivos valores com 24 setores. Este aumento é suficiente para fazer com que aqueles dois setores fossem apontados como setores-chave.

Tabela 5.21: Índices de ligação de Rasmussen-Hirschmann - 27 setores

<b>Índices de Ligação de Rasmussen-Hirschmann</b>			
<b>Nº</b>	<b>Setor</b>	<b><math>U_j</math></b>	<b><math>U_j^*</math></b>
1	Resto da geração de eletricidade	0,9118	1,2510
2	Geração de eletricidade por gás natural	0,9100	0,5629
3	Geração de eletricidade por bagaço de cana	0,5583	0,6094
4	Geração de eletricidade total	0,8877	0,7484
5	Transmissão e distribuição de eletricidade	0,8779	1,0585
6	Álcool	1,1010	0,7133
7	Fabricação de açúcar	1,2933	0,7192
8	Cana-de-açúcar	0,9507	0,9818
9	Petróleo e outros	0,8010	0,9059
10	Gás natural	0,8009	0,5960
11	Gasoálcool	1,5396	0,5977
12	Refino do petróleo	1,0548	2,0989
13	Resto da agropecuária	0,9664	1,1066
14	Extrativa mineral	1,0233	0,6669
15	Intermediário semi-elaborado	1,1168	1,1098
16	Resto intermediário elaborado	1,2231	2,6933
17	Bens de consumo duráveis	1,0894	0,6921
18	Resto bens de consumo não duráveis	1,2178	0,8722
19	Resto bens de capital	1,0200	1,2200
20	Ônibus e caminhões	1,0938	0,5699
21	Automóveis (veículos leves)	1,0938	0,5711
22	Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	0,9501	0,6741
23	Construção civil	0,9338	0,6698
24	Administração pública	0,7902	0,6900
25	Resto outros serviços	0,7547	1,9244
26	Comércio	0,8566	1,3641
27	Transportes	1,0709	1,0810

O aumento é decorrente da inserção do setor geração de eletricidade a partir do bagaço de cana, que possui seu valor de produção dado somente pelo PIB (remuneração sobre os fatores trabalho e capital). Isto fez com que o valor  $B^*$  para os 27 setores diminuísse em relação ao obtido para os 24 setores, aumentando os valores dos índices de ligação em geral.

Para completar os resultados por esta técnica, possibilitando melhor compreender a influência de um setor sobre outro, utilizaremos, também, a técnica de campo de influência, apresentada a seguir.

### 5.3.2 – Campo de influência.

Através da técnica de campo de influência (Sonis e Hewings, 1995), é possível estabelecer, na cadeia, produtiva quais são as relações intersetoriais mais importantes. Esta metodologia complementa as conclusões obtidas utilizando-se os índices de Rasmussen-Hirschman, dado que os índices obtidos para frente não são os mais apropriados para este tipo de análise (Guilhoto et al., 1994).

O princípio usado nesta seção consiste em estabelecer uma matriz quadrada de dimensão  $n$ , onde cada um de seus elementos está associado ao impacto causado em toda a cadeia produtiva devido a uma alteração marginal em seu respectivo coeficiente técnico de produção. Em suma, trata-se de uma análise de sensibilidade.

Seja a matriz de coeficientes técnicos diretos  $\mathbf{A}$  e  $\varepsilon$  um escalar incremental (por exemplo,  $10^{-9}$ ) para os elementos de  $\mathbf{A}$ . Definimos as matrizes  $n \times n$   $\mathbf{E}_{ij}$  (matrizes incrementais) e  $\mathbf{BE}_{ij}$  (correspondentes inversas de Leontief de  $\mathbf{A}$  somadas às respectivas matrizes incrementais), com  $1 \leq i \leq n$  e  $1 \leq j \leq n$ , tais que:

$$\mathbf{BE}_{ij} = (\mathbf{I} - \mathbf{A} - \mathbf{E}_{ij})^{-1} \quad (5.20)$$

Para um pequeno incremento no coeficiente técnico direto  $a_{ij}$ , teremos:

$$\mathbf{E}_{ij} = |\mathbf{e}_{kl}| \quad (5.21)$$

tal que  $\mathbf{e}_{kl} = \varepsilon$  para  $k = i$  e  $l = j$ ;  $\mathbf{e}_{kl} = 0$  para os demais elementos

A matriz do Campo de Influência do coeficiente  $a_{ij}$ , para esta variação, é dada por:

$$\mathbf{CI}_{ij} = (\mathbf{BE}_{ij} - \mathbf{B})/\varepsilon \quad (5.22)$$

Teremos, assim,  $n^2$  matrizes quadradas de ordem  $n$   $\mathbf{CI}_{ij}$ , com  $1 \leq i \leq n$  e  $1 \leq j \leq n$ , e para cada um dos elementos  $a_{ij}$  associamos um escalar  $h_{ij}$  para determinarmos os coeficientes com o maior campo de influência. A matriz de Campo de Influência **MCI** ( $n \times n$ ) é formada, então, pelos elementos  $h_{ij}$ , onde:

$$h_{ij} = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n (CE_{ij})^2 \quad (5.23)$$

Os valores  $h_{ij}$  que compõem a matriz de Campo de Influência (**MCI**) correspondem à norma<sup>17</sup> de Frobenius ao quadrado da matriz  $CE_{ij}$  correspondente.

Nesta metodologia, selecionamos os maiores valores de  $h_{ij}$  na matriz **MCI**, que denotam os coeficientes técnicos de maior campo de influência na economia.

Os valores foram calculados utilizando-se a matriz inversa de Leontief no modelo convencional, sendo desprezados os elementos correspondentes ao setor geração de eletricidade total, evitando-se uma dupla contagem. A Tabela 5.22 apresenta os coeficientes técnicos que estão entre os 16,7% maiores campos de influência.

Os resultados confirmam a identificação do setor 16 (resto intermediário elaborado) como um setor chave na economia. Destacamos, também, os setores 1 (resto da geração de eletricidade) e 12 (refino do petróleo) como setores que são fortemente demandados pelos demais da economia.

<sup>17</sup> Uma norma sobre um espaço vetorial  $X$  é uma função a valores reais sobre os vetores de  $X$ , definindo sobre este espaço uma métrica (Kreysig, 1978).

Tabela 5.22: coeficientes técnicos de maior campo de influência

Setor	Matriz campo de influência (MCI)																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	+			+								+			+	+											
2	+											+				+											
3	+											+				+											
4	+											+				+											
5	+			+								+				+											
6	+											+				+											
7	+			+								+			+	+											
8	+											+				+											
9	+											+				+											
10	+											+				+											
11	+			+	+		+					+	+		+	+		+	+						+		+
12	+			+								+	+		+	+									+		
13	+			+								+				+										+	
14	+											+				+											
15	+			+								+	+		+	+											
16	+			+	+		+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+				+		+	+	+
17	+											+				+											
18	+			+								+			+	+											
19	+											+				+											
20	+											+				+											
21	+											+				+											
22	+											+				+											
23	+											+				+											
24	+											+				+											
25	+											+				+											
26	+											+				+											
27	+											+				+											

## 6 – Conclusões.

*“Às vezes, o tempo de espera é melhor do que o próprio presente.”  
(Thais Letícia Zorzenoni)*

Neste trabalho, quantificamos alguns impactos sobre 27 setores da economia brasileira decorrentes de uma maior participação do setor sucroalcooleiro na matriz energética, especificamente o aumento da produção de excedentes de eletricidade a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar através da co-geração, e uma maior oferta de álcool como combustível para a frota leve de veículos.

As análises foram realizadas usando-se um modelo de insumo-produto adaptado, com dados estimados referente ao ano de 1999. A construção da base de dados exigiu a desagregação de alguns setores produtivos, como geração de eletricidade excedente por co-geração a partir do bagaço de cana, e a produção de gasoálcool. Os dados usados para esta construção foram obtidos das contas nacionais fornecidas pelo IBGE (IBGE, 1999), do Balanço Energético Nacional divulgado pelo Ministério de Minas e Energia e outras fontes diversas.

A disponibilidade de bagaço pelo setor sucroalcooleiro em 1999 foi considerada com uma tecnologia que permitiria a oferta de um excedente de 22,26 TWh de energia elétrica no total. O modelo desenvolvido nesse trabalho admite a simulação de outras tecnologias para a produção de excedentes de eletricidade naquele setor.

O modelo construído permite a simulação de diversos cenários distintos. São apresentados os impactos sobre emprego, nível de produção e PIB em 5 cenários distintos:

(i) Inserção da geração de eletricidade excedente por co-geração no setor sucroalcooleiro, através de uma política de racionamento no setor resto da geração de eletricidade.

Nesta condição, o setor sucroalcooleiro ficaria responsável por uma oferta de excedentes de eletricidade que permitiria um racionamento no setor resto da geração de eletricidade de 8,558%. Em toda a economia, seriam gerados 13.807 empregos, e o PIB teria um acréscimo no valor de R\$ 71,65 milhões.

O equilíbrio econômico advindo deste cenário foi utilizado para a análise de multiplicadores e ligação entre os setores produtivos.

(ii) Racionamento no setor resto da geração de eletricidade com a expansão da geração de eletricidade a partir do gás natural, e sem a inserção da geração de eletricidade excedente pelo setor sucroalcooleiro.

Neste cenário, estabelecemos o mesmo nível de racionamento no setor resto da geração de eletricidade observada anteriormente. A eletricidade necessária para satisfazer a restrição é atendida somente pela geração de eletricidade a partir de gás natural. Em toda a economia, são gerados apenas 145 novos empregos, e o PIB apresenta um aumento de R\$ 4,34 milhões.

(iii) Duplicação da produção de álcool com oferta de eletricidade excedente no setor sucroalcooleiro, e sem racionamento de eletricidade (geração, transmissão e distribuição) na demanda final.

O modelo responde que a oferta de eletricidade excedente no setor sucroalcooleiro permitiria um aumento na demanda final de 34,06% por geração de eletricidade e por transmissão e distribuição de eletricidade.



Devido aos efeitos diretos e indiretos em toda a cadeia produtiva, seriam gerados 505.282 empregos, e o PIB aumentaria em R\$ 12,62 bilhões (aumento de 1,31% do PIB).

(iv) Duplicação da produção de álcool com oferta de eletricidade excedente no setor sucroalcooleiro, com racionamento na produção do setor resto da geração de eletricidade.

A geração de eletricidade excedente no setor sucroalcooleiro permitiria um racionamento de 11,81% no setor resto da geração de eletricidade. Os impactos correspondem a um aumento de 459.966 empregos, e de um crescimento de R\$ 8,64 bilhões no PIB (0,90% de todo o PIB da economia).

(v) Substituição parcial de gasoálcool por álcool, decorrente da nova frota de veículos bicomcombustíveis.

Neste cenário, simulamos os impactos decorrentes de uma frota de 379.328 veículos bicomcombustíveis (veículos novos vendidos em 2004 (ANFAVEA, 2004)), considerando que a relação do preço do álcool em relação ao gasoálcool em 1999 foi de 56,60%, e que um motor a álcool possui 70% da eficiência termodinâmica de um motor à gasoálcool.

O modelo responde que se os veículos consumirem somente álcool, seriam gerados 28.002 empregos, o aumento no PIB seria de R\$ 537,59 milhões e a oferta de eletricidade excedente pelo setor sucroalcooleiro seria de 745,532 GWh (0,224% do total em 1999). Com o consumo exclusivo de gasoálcool, o acréscimo no número de empregos cairia ao valor de 14.329, o PIB, entretanto, aumentaria para o valor de R\$ 618,45 milhões e a oferta de eletricidade excedente se reduziria para 196,813 GWh.

Em qualquer simulação, o modelo apresenta os resultados com relação a nível de produção, empregos e PIB por setor, indicando quais os que apresentam aumento ou redução em cada um desses quesitos.

Nos cenários estudados, observamos que a oferta de eletricidade excedente no setor sucroalcooleiro por co-geração pode facilitar políticas de planejamento no setor elétrico, em função de possíveis necessidades de racionamento ou na dificuldade de expansão da geração hidroelétrica. As vantagens ainda se estendem em relação à oferta de empregos, comparada com a expansão equivalente da geração de eletricidade por gás natural.

O estudo de ligação entre os setores mostra os principais setores que são demandados pelos demais, como o setor resto intermediário elaborado e o setor refino do petróleo. Os setores que mais demandam na economia são o setor gasoálcool e o setor fabricação de açúcar. O estudo indica que os setores chave, aqueles que demandam e são demandados acima da média, são o setor intermediário semi-elaborado e o setor resto intermediário elaborado.

O trabalho apresentado pode servir de base para uma série de estudos subseqüentes. Podemos comparar os impactos em toda a cadeia produtiva em relação à emissão de gases de efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>, em comparação com o aumento da geração de eletricidade a partir de combustíveis fósseis, como o gás natural. Para quantificá-los, podemos usar a base de dados e o modelo disponível neste trabalho, com a adição de coeficientes de emissões para os setores, que seriam derivados de uma base de dados de emissões para os setores produtivos da economia, como a disponível por Alvim (2001). Nessa concepção, o modelo poderia ser utilizado como um instrumento para auxiliar a avaliação de políticas destinadas ao mecanismo de desenvolvimento limpo, baseado no protocolo de Kyoto.

Na seção 5.1, foram simulados dois cenários em que a produção total de álcool foi duplicada; evidentemente, um estudo com rigor muito maior poderia ser feito para avaliar uma expansão desta ordem, como por exemplo, as necessidades do aumento de terras para a cultura de cana-de-açúcar, e todos os outros impactos decorrentes desta situação.

A base de dados disponível no trabalho também pode ser usada em um modelo de equilíbrio geral, que pode contemplar os impactos nos níveis de preço decorrentes da substituição de energéticos, como por exemplo, a substituição da eletrotermia por gás natural. Em Bordoni (2001), é apresentada uma breve revisão da evolução e aplicação dos modelos de equilíbrio geral.

Um modelo dinâmico de insumo-produto, ou mesmo um modelo dinâmico de equilíbrio geral, poderia utilizar a base de dados aqui disponível para ser utilizado na previsão de demanda por eletricidade. Em Bajay (1983), encontramos uma revisão das metodologias empregadas nos modelos de previsão de demanda por eletricidade.

Em uma outra abordagem, como a apresentada em Machado (2000), a base de dados referente aos setores energéticos pode ser contemplada em unidades físicas, permitindo que o modelo trabalhe de forma híbrida, onde os energéticos são tratados em unidades físicas e os outros setores em unidade financeira. Uma extensão, em termos de unidades físicas, pode ser feita também para os setores energia intensivos, em um novo estudo que contemple um modelo economia-energia.

Em termos de metodologia, poder-se-ia desenvolver um estudo comparativo ao realizado neste trabalho usando um modelo com as matrizes de produção e uso simultaneamente, de tal forma que poderiam ser analisadas situações onde um produto é feito por mais de um setor, e setores que produzem mais de um produto.

## Referências Bibliográficas.

- ALVIM, C. F., Balanço Energético 1970/2000 e de Emissões Associadas. *Economia e Energia (e&e)* (ONG), 2001.
- ANDRADE, S. C., NAJBERG, S., “Uma matriz de contabilidade social atualizada para o Brasil”, *Textos para discussão – 58*. BNDES, Rio de Janeiro, 1997.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2004. <http://www.aneel.gov.br>
- Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). Anuário da Indústria Automobilística Brasileira – 2004.
- BAJAY, S. V., “Long-Term Electricity Demand Forecasting Models: A Review of Methodologies”. *Electric Power Systems Research*, 6 (1983) 243 - 257
- BORDONI, O. F. J. G., *Métodos Quantitativos para Construção, Calibragem e Solução de Modelos Computáveis de Equilíbrio Geral de Grande Porte*, Tese de doutorado, IMECC – Unicamp. 2001
- BRIGHENTI, C. R. F., *Integração do cogrador de energia do setor sucroalcooleiro com o sistema elétrico*, dissertação de mestrado, PIPGE, USP, São Paulo, Brasil, 2003.
- CARTER, A. P., “Applications of Input-Output Analysis to Energy Problems”. Abril - 1974
- COELHO, S. T., *Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa. Um modelo para o estado de São Paulo*, tese de doutorado, PIPGE, USP, São Paulo, Brasil, 1999.
- CONCEIÇÃO, E. P., *Análise de produção de energia elétrica em duas indústrias de processamento de cana da região norte do estado de São Paulo*, dissertação de mestrado, PIPGE, USP, São Paulo, Brasil, 1999.

- FEIJÓ, et al., *Contabilidade Social: O Novo Sistema de Contas Nacionais do Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2001
- GOLUB, G. H. & VAN LOAN, C. F. *Matrix Computations*, second edition. The Johns Hopkins University Press, 1989.
- GUILHOTO, J. J. M. (2001). "Leontief e insumo-produto: Antecedentes, princípios e evolução". *Série Seminário da Pós-Graduação*. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. ESALQ – USP. Nº 15.
- GUILHOTO, J. J. M., BARROS, A. L. M., MARJOTTA-MAISTRO, M. C., ISTAKE, M., "Mechanization process of the sugar cane harvest and its direct and indirect impact over the employment in Brazil and in its 5 macro regions", *Programa de seminários acadêmicos nº 9*. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. ESALQ/USP, 2002.
- GUILHOTO, J. J. M., SONIS, M., HEWINGS G. J. D., MARTINS E. B., "Índices de Ligações e Setores-Chave na Economia Brasileira: 1959/80", *Pesquisa e Planejamento Econômico*. 24 (2). pp.287 – 314. Agosto – 1994.
- HANSELMAN, D., LITTLEFIELD, B. *MATLAB 6 – Curso Completo*. Prentice Hall – São Paulo, 2003.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Matriz de insumo-produto. Brasil*, 1996, 1999. [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)
- JANNUZZI, G. M. **Por um futuro sem apagões**. Artigo publicado no jornal O Estado de São Paulo – 29/10/2003
- KREYSIG, E., *Introductory Functional Analysis with Applications*. John Wiley & Sons – 1978.

- MACEDO, I. C. Palestra proferida no seminário BIOMASS FOR ELECTRICITY PRODUCTION, Itamaraty, Brasília, 1997.
- MACEDO, I. C. **Energia da cana de açúcar no Brasil**. Palestra proferida no congresso SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO E USO DE ENERGIA NO BRASIL: OS PRÓXIMOS 20 ANOS – Unicamp – 2002
- MACHADO, G.V. “Energy Use, CO<sub>2</sub> Emissions and Foreign Trade: An IO Approach Applied to the Brazilian Case”. *13th International Input-Output Association Conference*. Macerata, Itália, 21 a 25 de agosto de 2000
- MILLER, R. E., BLAIR, P.D. *Input-output analysis: foundations and extensions*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall – 1985.
- Ministério de Minas e Energia (MME). Balanço Energético Nacional, 2004. [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br).
- Ministério de Minas e Energia (MME) “O programa PROINFA” , 2005. [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)
- MOREIRA, J. R., POOLE, A.D. **Hydropower and its Constraints**. Secretaria de Ciência e Tecnologia, Brasília, 1991.
- NOGUEIRA, L. A. H., *Análise da utilização de energia na produção de álcool de cana de açúcar*, tese de doutorado, Unicamp, Campinas, 1987
- ODDONE, D. C., *Cogeração: uma alternativa para produção de eletricidade*, tese de mestrado, PIPGE, USP, São Paulo, Brasil, 2001
- RAMALHO, E. L. *Uma Visão da Comercialização de Energia Elétrica, pelas Indústrias de Açúcar e Álcool, diante da Reestruturação do Setor Elétrico Nacional*, dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Planejamento de Sistemas Energéticos. Unicamp, Campinas – 1999.

- RAMOS, R. L. O., “Metodologias para o cálculo de coeficientes técnicos diretos em um modelo de insumo-produto”. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria de Pesquisas, 1996.
- ROSA, L. P., SCHAEFFER, R., SANTOS, M. A. “Methane and Carbon Dioxide Emissions of Hydroelectric Power Plants in the Amazon Compared to Thermoelectric Equivalent”, in: Workshop and Latin American Seminar on Greenhouse Gas Emissions of Energy Sector and Their Impacts. Anais. Rio de Janeiro – 1995.
- RUGGIERO, M. A. G., LOPES, V. L. R., *Cálculo Numérico – aspectos teóricos e computacionais*, 2ª edição, Ed. Makron Books, São Paulo – 1998.
- SCARAMUCCI, J. A. et al. “Geração distribuída de eletricidade a partir de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil: um modelo computável de equilíbrio geral”. Artigo apresentado no XXV congresso nacional de matemática aplicada – 2002 – Nova Friburgo – R.J.
- SCARAMUCCI, J. A. et al. “O mercado de combustíveis líquidos em um cenário de escassez de petróleo: uma análise econômica exploratória para o Brasil”. Artigo apresentado no V Agrener – 2004 – Unicamp – Campinas – S.P.
- Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes (SINDICOM), 2005. [www.sindicom.com.br](http://www.sindicom.com.br)
- SONIS, M., HEWINGS, G. J. D. *Fields of Influence in Input-Output Systems*, unpublished manuscript, Regional Economics Applications Laboratory. Urbana, Illinois – 1995.
- TOLMASKIM, M. **Deu Curto-Circuito**. *Revista EXAME* – fevereiro - 2003
- União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA). **Tecnologia amplia oferta e reduz custo do álcool**. *Revista Química e Derivados* – Ed. QD – 2004
- União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA), 2005. [www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)

WAACK, R. S., E NEVES, M. F. *Competitividade do Sistema Agroindustrial da Cana-de-Açúcar* – IPEA – 1998.

WALTER, A. C. S., *Viabilidade e perspectivas da co-geração e geração termelétrica no setor sucro-alcooleiro*, tese de doutorado, Unicamp, Campinas, 1994.

WYLEN, G. J. V, SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. Ed. Edgard Blucher.

ZYLBERSTAJN, D., COELHO, S. T., “Avaliação de impactos ambientais e sociais decorrentes da cogeração de eletricidade a partir do bagaço de cana”, IEE – USP – 1997.



## Apêndices.

### A.1 – Obtenção da matriz de transações a partir das tabelas de recursos e usos<sup>18</sup>.

Seja a matriz de transações apresentada abaixo:

Figura 4.1: Matriz de transações				
ITEM	Produtos	Setores	Demanda final	Produção total
Produtos		U	E	Q
Setores	V	Z	Y	X
Valor Adicionado		W		
Total das despesas	$Q^T$	$X^T$		

A produção total dos produtos (vetor **Q**) deve ser igual ao seu consumo. Então:

$$U \cdot i + E = Q \quad (7.1)$$

$$\text{em que } i = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

Seja **B** a matriz de coeficientes técnicos dos setores em relação aos produtos:

$$B = U \cdot (\hat{X})^{-1} \quad (7.2)$$

Pós multiplicando (7.2) por  $(\hat{X})$  membro a membro, obtemos

<sup>18</sup> As matrizes **Z** e **Y** são obtidas com a hipótese de tecnologia baseada na indústria, versão setor *versus* setor. São possíveis, no total, oito combinações distintas, considerando-se as possibilidades de tecnologia baseada na indústria ou no produto, e às versões setor *versus* produto, produto *versus* setor e produto *versus* produto. A este respeito, ver Miller e Blair (1985).

$$\mathbf{B} \cdot (\hat{\mathbf{X}}) = \mathbf{U} \quad (7.3)$$

Substituindo (7.3) em (7.1):

$$\mathbf{B} \cdot (\hat{\mathbf{X}}) \cdot \mathbf{i} + \mathbf{E} = \mathbf{Q} \Rightarrow \mathbf{B} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{E} = \mathbf{Q} \quad (7.4)$$

Obteremos, agora, a matriz  $\mathbf{D}$ , chamada matriz de *market share*, que é obtida pela hipótese de tecnologia baseada na indústria:

$$\mathbf{D} = \mathbf{V} \cdot (\hat{\mathbf{Q}})^{-1} \quad (7.5)$$

Pós multiplicando (7.5) por  $(\hat{\mathbf{Q}})$  membro a membro, temos:

$$\mathbf{D} \cdot (\hat{\mathbf{Q}}) = \mathbf{V} \quad (7.6)$$

$$\text{Mas } \mathbf{V} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{X} \quad (7.7)$$

Substituindo (7.7) em (7.6):

$$\mathbf{D} \cdot (\hat{\mathbf{Q}}) \cdot \mathbf{i} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{i} \Rightarrow \mathbf{X} = \mathbf{D} \cdot \mathbf{Q} \quad (7.8)$$

Pré multiplicando (7.4) por  $\mathbf{D}$ , temos:

$$\mathbf{D} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{D} \cdot \mathbf{E} = \mathbf{D} \cdot \mathbf{Q}$$

$$\mathbf{D} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{D} \cdot \mathbf{E} = \mathbf{X} \Rightarrow (\mathbf{I} - \mathbf{D} \cdot \mathbf{B}) \cdot \mathbf{X} = \mathbf{D} \cdot \mathbf{E} \Rightarrow \mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{D} \cdot \mathbf{B})^{-1} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{E} \quad (7.9)$$

Nesta última equação, concluímos que:

$$\mathbf{D} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{A} \Rightarrow \mathbf{D} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{Z} \cdot (\hat{\mathbf{X}})^{-1} \Rightarrow \mathbf{D} \cdot \mathbf{U} \cdot (\hat{\mathbf{X}})^{-1} = \mathbf{Z} \cdot (\hat{\mathbf{X}})^{-1} \Rightarrow \mathbf{Z} = \mathbf{D} \cdot \mathbf{U} \quad (7.10)$$

e

$$\mathbf{Y} = \mathbf{D} \cdot \mathbf{E} \quad (7.11)$$

## A.2 – Matriz de transações com a inserção da co-geração no setor sucroalcooleiro.

<b>Matriz de Transações com 27 setores - Brasil 1999 (valores correntes em R\$ 1.000,00)</b>						
<b>Setor</b>	<b>N.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Resto da Geração de eletricidade	1	0	0	0	19.366.321	0
Geração de eletricidade por gás natural	2	0	0	0	128.688	0
Geração de eletricidade por bagaço de cana	3	0	0	0	1.427.409	0
Geração de eletricidade total	4	3.876.471	34.000	0	0	2.415.300
Transmissão e distribuição de eletricidade	5	1.593.265	3.781	0	0	3.025.404
Álcool	6	1.086	272	0	0	6.114
Fabricação de açúcar	7	4.536	2	0	0	7.122
Cana-de-açúcar	8	0	0	0	0	0
Petróleo e outros	9	7.424	0	0	0	44
Gás natural	10	3	1.538	0	0	3
Gasoálcool	11	34.932	241	0	0	19.162
Refino do petróleo	12	323.678	8	0	0	10.037
Resto da agropecuária	13	6.423	42	0	0	6.982
Extrativa mineral	14	2.163	7	0	0	2.943
Intermediário semi-elaborado	15	48.725	321	0	0	55.489
Resto intermediário elaborado	16	52.889	328	0	0	60.719
Bens de consumo duráveis	17	123.691	823	0	0	140.349
Resto bens de consumo não duráveis	18	64.657	423	0	0	74.113
Resto bens de capital	19	342.195	1.518	0	0	438.523
Ônibus e caminhões	20	11.498	4	0	0	17.876
Automóveis (veículos leves)	21	12.861	4	0	0	19.997
Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	22	118	1	0	0	133
Construção civil	23	79.832	536	0	0	90.262
Administração pública	24	42.640	286	0	0	48.123
Resto outros serviços	25	835.081	5.776	0	0	992.398
Comércio	26	119.330	831	0	0	160.367
Transportes	27	37.512	253	0	0	42.491
Importação	28	503.749	3.347	0	0	552.527
Impostos indir. Líquidos (IIL)	29	848.580	5.639	0	0	930.748
Trabalho (L)	30	3.628.958	24.114	353.223	0	3.980.353
Capital (K)	31	5.815.773	38.446	1.074.186	0	7.129.253
Impostos Diretos (ID)	32	948.253	6.148	0	0	1.014.745
Pessoal Ocupado	33	55.196	367	30.144	0	60.544
<b>Valor da produção (<math>X^T</math>)</b>	<b>34</b>	<b>19.366.321</b>	<b>128.688</b>	<b>1.427.409</b>	<b>20.922.419</b>	<b>21.241.578</b>
<b>PIB</b>	<b>963.940.189</b>					

<b>Matriz de Transações com 27 setores - Brasil 1999 (valores correntes em R\$ 1.000,00)</b>						
<b>Setor</b>	<b>N.</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Resto da Geração de eletricidade	<b>1</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade por gás natural	<b>2</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade por bagaço de cana	<b>3</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade total	<b>4</b>	138.500	95.044	7.476	27.747	2.491
Transmissão e distribuição de eletricidade	<b>5</b>	138.594	95.346	7.584	29.164	2.618
Álcool	<b>6</b>	51.439	7.473	1.580	464	41
Fabricação de açúcar	<b>7</b>	490.580	1.219.226	478	105	9
Cana-de-açúcar	<b>8</b>	2.678.206	1.992.088	117.671	1	0
Petróleo e outros	<b>9</b>	2	9	55	3.281	270
Gás natural	<b>10</b>	0	0	0	1	0
Gasoálcool	<b>11</b>	2.015	2.197	19.498	4.131	371
Refino do petróleo	<b>12</b>	126.371	118.430	254.544	120.843	10.847
Resto da agropecuária	<b>13</b>	45	11.646	221.213	28	2
Extrativa mineral	<b>14</b>	380	256	13.572	451	41
Intermediário semi-elaborado	<b>15</b>	21.657	128.124	9.483	183.372	16.446
Resto intermediário elaborado	<b>16</b>	274.654	473.115	779.527	455.856	40.850
Bens de consumo duráveis	<b>17</b>	15.313	18.421	722	12.087	1.084
Resto bens de consumo não duráveis	<b>18</b>	26.226	20.438	28.414	33.835	3.035
Resto bens de capital	<b>19</b>	158.689	327.678	13.999	267.183	23.988
Ônibus e caminhões	<b>20</b>	1.467	1.670	106	1.601	144
Automóveis (veículos leves)	<b>21</b>	1.641	1.868	118	1.791	161
Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	<b>22</b>	72.867	50.063	3.959	307.095	27.634
Construção civil	<b>23</b>	18.317	46.416	195	86.274	7.746
Administração pública	<b>24</b>	10.328	34.143	34.605	113.179	10.158
Resto outros serviços	<b>25</b>	200.699	307.985	81.106	1.200.440	107.777
Comércio	<b>26</b>	149.095	412.739	324.784	260.235	23.361
Transportes	<b>27</b>	164.517	224.537	100.303	172.482	15.486
Importação	<b>28</b>	175.351	316.767	178.253	425.464	38.244
Impostos indir. Líquidos (IIL)	<b>29</b>	227.004	324.424	97.925	335.864	30.161
Trabalho (L)	<b>30</b>	460.471	695.607	635.643	1.163.802	104.487
Capital (K)	<b>31</b>	2.723.410	635.594	2.579.884	6.790.888	609.723
Impostos Diretos (ID)	<b>32</b>	411.960	379.156	-43.976	596.336	53.526
Pessoal Ocupado	<b>33</b>	28.862	74.891	505.288	34.345	2.628
<b>Valor da produção (X<sup>T</sup>)</b>	<b>34</b>	<b>8.739.800</b>	<b>7.940.460</b>	<b>5.468.725</b>	<b>12.594.002</b>	<b>1.130.701</b>
<b>PIB</b>	<b>963.940.189</b>					

<b>Matriz de Transações com 27 setores - Brasil 1999 (valores correntes em R\$ 1.000,00)</b>						
<b>Setor</b>	<b>N.</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Resto da Geração de eletricidade	<b>1</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade por gás natural	<b>2</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade por bagaço de cana	<b>3</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade total	<b>4</b>	56.043	435.773	250.182	137.493	871.563
Transmissão e distribuição de eletricidade	<b>5</b>	55.899	436.662	252.553	138.264	873.468
Álcool	<b>6</b>	5.382.678	241.368	28.703	1.466	13.912
Fabricação de açúcar	<b>7</b>	24.548	1.788	5.903	443	3.014
Cana-de-açúcar	<b>8</b>	0	8	209.761	3	7
Petróleo e outros	<b>9</b>	0	12.298.301	1.025	154	5.693
Gás natural	<b>10</b>	0	1.107.641	1	1	8
Gasoálcool	<b>11</b>	958	3.495	428.583	9.282	35.153
Refino do petróleo	<b>12</b>	18.167.393	15.605.656	2.972.357	490.695	2.248.299
Resto da agropecuária	<b>13</b>	257	259	17.917.860	12.016	2.585.295
Extrativa mineral	<b>14</b>	33	20.629	261.595	641.290	675.176
Intermediário semi-elaborado	<b>15</b>	33	399.973	246.929	179.043	13.484.598
Resto intermediário elaborado	<b>16</b>	6.328	2.015.710	9.541.523	555.170	4.440.528
Bens de consumo duráveis	<b>17</b>	33	29.685	13.155	21.037	57.071
Resto bens de consumo não duráveis	<b>18</b>	70.087	127.630	5.814.059	33.155	398.240
Resto bens de capital	<b>19</b>	3.400	609.427	248.190	358.722	817.436
Ônibus e caminhões	<b>20</b>	321	4.942	2.905	2.432	9.671
Automóveis (veículos leves)	<b>21</b>	359	5.529	3.249	2.721	10.818
Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	<b>22</b>	0	162.003	132.165	94.569	408.036
Construção civil	<b>23</b>	0	99.605	4.129	30.293	146.919
Administração pública	<b>24</b>	0	112.986	496.308	62.694	1.095.788
Resto outros serviços	<b>25</b>	0	1.691.463	1.888.755	829.789	3.082.733
Comércio	<b>26</b>	0	1.753.945	4.070.154	342.388	3.842.672
Transportes	<b>27</b>	0	2.067.701	2.104.294	358.881	1.584.806
Importação	<b>28</b>	0	8.270.989	3.918.103	492.524	3.112.509
Impostos indir. Líquidos (IIL)	<b>29</b>	1.509.861	1.782.707	2.152.448	348.900	3.470.392
Trabalho (L)	<b>30</b>	83.278	1.597.188	9.477.304	972.406	9.739.737
Capital (K)	<b>31</b>	442.385	20.815.649	58.730.201	2.569.674	11.576.139
Impostos Diretos (ID)	<b>32</b>	0	3.480.493	-966.627	413.030	3.055.281
Pessoal Ocupado	<b>33</b>	3.300	44.870	13.857.240	189.577	1.659.771
<b>Valor da produção (X<sup>T</sup>)</b>	<b>34</b>	<b>25.803.896</b>	<b>75.179.207</b>	<b>120.205.767</b>	<b>9.098.534</b>	<b>67.644.961</b>
<b>PIB</b>	<b>963.940.189</b>					

<b>Matriz de Transações com 27 setores - Brasil 1999 (valores correntes em R\$ 1.000,00)</b>						
<b>Setor</b>	<b>N.</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
Resto da Geração de eletricidade	<b>1</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade por gás natural	<b>2</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade por bagaço de cana	<b>3</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade total	<b>4</b>	1.719.880	88.776	778.127	322.811	27.140
Transmissão e distribuição de eletricidade	<b>5</b>	1.722.046	89.855	785.462	323.937	27.517
Álcool	<b>6</b>	95.959	2.476	124.364	3.569	560
Fabricação de açúcar	<b>7</b>	21.188	405	927.001	1.151	117
Cana-de-açúcar	<b>8</b>	483	1	227.448	1	0
Petróleo e outros	<b>9</b>	164.748	230	1.706	93	11
Gás natural	<b>10</b>	8	3	14	3	0
Gasoálcool	<b>11</b>	21.864	4.993	41.971	12.454	1.140
Refino do petróleo	<b>12</b>	10.571.174	538.834	2.402.159	597.282	58.964
Resto da agropecuária	<b>13</b>	3.050.452	1.269	43.621.058	562	138
Extrativa mineral	<b>14</b>	2.112.944	45.442	416.330	1.097	265
Intermediário semi-elaborado	<b>15</b>	1.958.207	1.011.810	3.990.591	743.696	141.191
Resto intermediário elaborado	<b>16</b>	47.417.119	4.670.015	10.864.588	10.080.337	1.354.285
Bens de consumo duráveis	<b>17</b>	224.274	2.393.756	93.281	642.607	27.497
Resto bens de consumo não duráveis	<b>18</b>	1.333.380	50.055	22.363.099	83.373	28.242
Resto bens de capital	<b>19</b>	2.297.589	918.616	749.308	4.138.235	1.914.427
Ônibus e caminhões	<b>20</b>	26.216	5.925	11.808	59.552	79.215
Automóveis (veículos leves)	<b>21</b>	29.325	6.627	13.209	62.937	14.343
Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	<b>22</b>	725.620	84.743	405.361	120.123	10.169
Construção civil	<b>23</b>	220.146	49.781	211.003	112.339	13.482
Administração pública	<b>24</b>	423.351	119.971	1.010.838	145.888	50.397
Resto outros serviços	<b>25</b>	4.559.260	1.572.087	6.788.385	1.904.184	445.658
Comércio	<b>26</b>	5.667.455	1.567.287	10.345.658	2.520.540	714.532
Transportes	<b>27</b>	2.659.817	435.994	3.348.719	493.009	218.428
Importação	<b>28</b>	11.864.443	3.138.439	6.437.835	3.785.432	1.407.288
Impostos indir. Líquidos (IIL)	<b>29</b>	5.326.663	1.790.365	6.265.938	2.516.220	713.582
Trabalho (L)	<b>30</b>	12.730.972	2.694.951	13.478.259	8.687.232	656.794
Capital (K)	<b>31</b>	21.316.591	4.698.878	27.880.112	12.548.628	1.508.137
Impostos Diretos (ID)	<b>32</b>	6.791.290	1.253.069	7.664.622	2.087.028	468.311
Pessoal Ocupado	<b>33</b>	1.398.584	208.383	3.563.738	587.710	34.216
<b>Valor da produção (X<sup>T</sup>)</b>	<b>34</b>	<b>145.052.463</b>	<b>27.234.653</b>	<b>171.248.253</b>	<b>51.994.322</b>	<b>9.881.830</b>
<b>PIB</b>	<b>963.940.189</b>					

<b>Matriz de Transações com 27 setores - Brasil 1999 (valores correntes em R\$ 1.000,00)</b>						
<b>Setor</b>	<b>N.</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>
Resto da Geração de eletricidade	<b>1</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade por gás natural	<b>2</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade por bagaço de cana	<b>3</b>	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade total	<b>4</b>	30.347	1.431.967	76.503	905.081	1.409.489
Transmissão e distribuição de eletricidade	<b>5</b>	30.770	1.432.224	80.356	931.014	1.434.132
Álcool	<b>6</b>	2.664	3.235	11.608	41.371	201.580
Fabricação de açúcar	<b>7</b>	140	4.206	355	26.918	678.687
Cana-de-açúcar	<b>8</b>	0	0	2	688	52.804
Petróleo e outros	<b>9</b>	12	2.030	1.623	371	824
Gás natural	<b>10</b>	0	2	4	26	63
Gasoálcool	<b>11</b>	1.275	9.463	129.488	2.959.913	224.251
Refino do petróleo	<b>12</b>	66.108	395.732	1.401.537	396.950	629.397
Resto da agropecuária	<b>13</b>	154	3.461	12.899	1.950.912	2.585.928
Extrativa mineral	<b>14</b>	296	1.604	359.501	15.358	27.470
Intermediário semi-elaborado	<b>15</b>	157.848	27.152	14.780.644	3.192.761	5.561.009
Resto intermediário elaborado	<b>16</b>	1.514.228	29.944	13.755.448	1.473.051	5.693.085
Bens de consumo duráveis	<b>17</b>	30.747	66.637	2.505.183	206.420	1.158.121
Resto bens de consumo não duráveis	<b>18</b>	31.607	35.523	432.336	3.271.295	11.329.954
Resto bens de capital	<b>19</b>	2.140.690	229.432	1.184.106	750.699	3.642.979
Ônibus e caminhões	<b>20</b>	14.338	10.525	24.109	16.330	53.357
Automóveis (veículos leves)	<b>21</b>	90.307	11.774	26.968	52.381	116.613
Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	<b>22</b>	11.370	203.635	56.225	1.452.347	496.684
Construção civil	<b>23</b>	15.075	42.730	5.189.792	1.192.138	4.991.981
Administração pública	<b>24</b>	56.353	22.894	301.593	2.267.211	2.484.344
Resto outros serviços	<b>25</b>	498.329	468.621	2.996.495	24.700.172	31.727.812
Comércio	<b>26</b>	798.981	76.336	4.224.881	2.799.741	6.335.934
Transportes	<b>27</b>	244.243	20.500	1.550.952	1.989.745	2.676.838
Importação	<b>28</b>	1.599.577	272.871	4.209.060	5.761.222	8.862.826
Impostos indir. Líquidos (IIL)	<b>29</b>	798.333	459.660	6.075.674	3.594.087	8.823.564
Trabalho (L)	<b>30</b>	690.005	1.965.740	9.790.624	139.129.781	102.363.134
Capital (K)	<b>31</b>	1.706.199	2.761.340	66.830.587	0	186.366.708
Impostos Diretos (ID)	<b>32</b>	523.854	501.143	4.472.515	1.282.845	10.750.184
Pessoal Ocupado	<b>33</b>	38.274	93.715	3.908.508	5.654.221	18.696.654
<b>Valor da produção (X<sup>T</sup>)</b>	<b>34</b>	<b>11.053.854</b>	<b>10.490.381</b>	<b>140.481.066</b>	<b>200.360.831</b>	<b>400.679.749</b>
<b>PIB</b>	<b>963.940.189</b>					

<b>Matriz de Transações com 27 setores - Brasil 1999 (valores correntes em R\$ 1.000,00)</b>						
<b>Setor</b>	<b>N.</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28 - Dummy</b>	<b>29 - FBCF</b>	<b>30 - Export.</b>
Resto da Geração de eletricidade	1	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade por gás natural	2	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade por bagaço de cana	3	0	0	0	0	0
Geração de eletricidade total	4	779.005	129.574	0	0	0
Transmissão e distribuição de eletricidade	5	794.199	132.874	0	3.173	10.501
Álcool	6	809.332	51.022	0	1.249	159.270
Fabricação de açúcar	7	8.841	868	0	1.246	2.744.261
Cana-de-açúcar	8	253	7	0	1	82.209
Petróleo e outros	9	1.085	500	0	36	4.049
Gás natural	10	86	8	0	3	0
Gasoálcool	11	111.390	571.769	0	0	0
Refino do petróleo	12	1.656.837	10.045.459	0	-18.761	2.384.566
Resto da agropecuária	13	0	155	0	2.985.332	4.270.064
Extrativa mineral	14	4.880	1.144	0	11.387	4.730.357
Intermediário semi-elaborado	15	2.094.620	254.065	0	1.587.495	6.441.024
Resto intermediário elaborado	16	921.604	2.796.616	0	897.206	14.800.972
Bens de consumo duráveis	17	46.464	23.516	0	5.945.292	3.948.154
Resto bens de consumo não duráveis	18	106.869	378.130	0	808.770	19.492.888
Resto bens de capital	19	339.797	2.352.138	0	14.210.203	9.893.712
Ônibus e caminhões	20	7.093	16.359	0	3.584.048	1.181.472
Automóveis (veículos leves)	21	7.934	18.299	0	926.274	2.002.447
Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	22	366.747	57.145	0	779	2.579
Construção civil	23	297.325	321.356	0	127.163.512	29.546
Administração pública	24	1.321.967	290.677	0	281.170	1.260.799
Resto outros serviços	25	17.414.897	4.616.279	41.217.504	1.489.189	8.193.025
Comércio	26	2.106.182	2.211.762	0	4.195.979	8.309.231
Transportes	27	4.371.534	6.304.716	0	412.915	3.926.700
Importação	28	2.697.232	4.179.384	0	13.426.752	0
Impostos indir. Líquidos (IIL)	29	1.842.635	2.546.667	0	6.173.806	6.280.142
Trabalho (L)	30	29.965.338	12.773.091	0	0	0
Capital (K)	31	26.435.569	9.182.578	0	0	0
Impostos Diretos (ID)	32	4.463.647	1.430.127	0	0	0
Pessoal Ocupado	33	9.318.397	2.383.284	0	0	0
<b>Valor da produção (<math>X^T</math>)</b>	<b>34</b>	<b>98.973.362</b>	<b>60.686.285</b>			
<b>PIB</b>	<b>963.940.189</b>					



<b>Matriz de Transações com 27 setores - Brasil 1999 (valores correntes em R\$ 1.000,00)</b>				
<b>Setor</b>	<b>N.</b>	<b>31 - VE</b>	<b>32 - Governo</b>	<b>33 - Famílias</b>
Resto da Geração de eletricidade	<b>1</b>	0	0	0
Geração de eletricidade por gás natural	<b>2</b>	0	0	0
Geração de eletricidade por bagaço de cana	<b>3</b>	0	0	0
Geração de eletricidade total	<b>4</b>	-934.798	0	5.810.431
Transmissão e distribuição de eletricidade	<b>5</b>	978.206	0	5.812.709
Álcool	<b>6</b>	-934.667	0	2.429.611
Fabricação de açúcar	<b>7</b>	-109.501	0	1.876.821
Cana-de-açúcar	<b>8</b>	-4.174	0	111.256
Petróleo e outros	<b>9</b>	92.561	0	7.866
Gás natural	<b>10</b>	20.692	0	593
Gasoálcool	<b>11</b>	63.273	0	21.090.633
Refino do petróleo	<b>12</b>	442.309	0	3.161.502
Resto da agropecuária	<b>13</b>	7.935.290	0	33.026.023
Extrativa mineral	<b>14</b>	-331.208	0	83.131
Intermediário semi-elaborado	<b>15</b>	-322.636	0	11.251.291
Resto intermediário elaborado	<b>16</b>	676.681	0	9.410.087
Bens de consumo duráveis	<b>17</b>	246.881	0	9.242.352
Resto bens de consumo não duráveis	<b>18</b>	2.251.522	0	102.556.897
Resto bens de capital	<b>19</b>	439.440	0	3.182.001
Ônibus e caminhões	<b>20</b>	178.374	0	4.558.474
Automóveis (veículos leves)	<b>21</b>	138.195	0	7.475.104
Saneamento básico, coleta e tratam. de lixo	<b>22</b>	-215.937	0	5.454.148
Construção civil	<b>23</b>	7.923	0	12.412
Administração pública	<b>24</b>	51.650	185.858.483	2.352.008
Resto outros serviços	<b>25</b>	141.392	0	240.722.461
Comércio	<b>26</b>	-509.406	0	36.148.366
Transportes	<b>27</b>	150.925	0	25.007.988
Importação	<b>28</b>	662.467	0	28.592.435
Impostos indir. Líquidos (IIL)	<b>29</b>	198.277	0	38.041.441
Trabalho (L)	<b>30</b>	0	0	0
Capital (K)	<b>31</b>	0	0	0
Impostos Diretos (ID)	<b>32</b>	0	0	0
Pessoal Ocupado	<b>33</b>	0	0	0
<b>Valor da produção (<math>X^T</math>)</b>	<b>34</b>			
<b>PIB</b>	<b>963.940.189</b>			

### A.3 – Implementação em MATLAB do algoritmo utilizado no modelo.

```
tic;
% Modelo de insumo-produto para COgeração no SEtor SUcroalcooleiro - COESA
alfa6=0.0811; % coeficiente referente a disponibilidade de bagaço no setor Alcool
alfa7=0.0905; % coeficiente referente a disponibilidade de bagaço no setor Açucar
% Leitura dos dados iniciais, fornecidos por Guilhoto ref. ao ano de 1999
MT90=xlsread('MT90'); % Esta e a matriz de transações com 90 setores (107X96)
% Agregando os 90 setores em 24 setores
AgregaSetores=xlsread('AgregaSetores'); % vetor de agregação de 90 para 24 setores
AgregaColunas=zeros(90,24); % construção da matriz de agregar as colunas
for i=1:90
    j=AgregaSetores(i);
    AgregaColunas(i,j)=1;
end
AgregaLinhas=AgregaColunas'; % matriz de agregação das linhas
% Agregando as colunas
Z24=zeros(107,30);
Z24(:,1:24)=MT90(:,1:90)*AgregaColunas;
Z24(:,25:30)=MT90(:,91:96);
% Agregando as linhas
Z24(1:24,:)=AgregaLinhas*Z24(1:90,:);
Z24(25:41,:)=Z24(91:107,:);
Z24=Z24(1:41,:);
X24=sum(Z24(1:24,:))';
wk1write('Z24',Z24);
% Inserindo o setor ficticio de Geração de eletricidade total (Get) setor 3
% no momento
Z25=zeros(42,31);
% Inserindo o setor Get na linha 3
Z25(4:42,1:30)=Z24(3:41,:);
Z25(3,1:30)=sum(Z24(1:2,:)); % obtendo Get pela soma da Ger e Geg
% Inserindo o setor Get na coluna 3
Z25(:,4:31)=Z25(:,3:30);
Z25(:,3)=zeros(42,1);
Z25(1,3)=sum(Z25(1:41,1));
Z25(2,3)=sum(Z25(1:41,2));
X25=sum(Z25(1:25,:))';
wk1write('Z25',Z25);
```

```

% Agregando os impostos indiretos liquidados (linha 27), Trabalho (linha
% 28), Capital (linha 29), impostos diretos (linha 30) e pessoal
% ocupado (linha 31)
Z25(27,:)=sum(Z25(27:33,:)); % IIL
Z25(28,:)=sum(Z25(34:37,:)); % Trabalho (L)
Z25(29,:)=sum(Z25(38:39,:)); % Capital (K)
Z25(30,:)=sum(Z25(40:41,:)); % Impostos diretos (ID)
Z25(31,:)=Z25(42,:); % Pessoal Ocupado (PO)
Z25=Z25(1:31,:);
wk1write('Z25',Z25);
X25T=sum(Z25(1:30,1:25));
% Obtendo a matriz com 26 setores (inserção do setor Gasoalcool - setor 10
% no momento)
% Inserção do Gasoalcool na coluna da matriz de transações
Z26C=zeros(31,32);
Z26C(1:31,1:9)=Z25(1:31,1:9);
Z26C(1:31,11:32)=Z25(1:31,10:31);
gasocol=xlsread('gasocol'); % vetor coluna com os coef. tecn. gasoalcool
Xgasoalcool=25807679; % valor da produção do produto gasoalcool em 1999 (em mil R$)
Z26C(1:30,10)=Xgasoalcool*gasocol;
Z26C(31,10)=3300; % pessoal ocupado no setor gasoalcool
for i=1:30
    if(Z26C(i,10)>Z26C(i,25))
        Z26C(i,10)=Z26C(i,25);
    end
end
Z26C(:,25)=Z26C(:,25)-Z26C(:,10);
% Inserção do Gasoalcool na linha da matriz de transações
Z26=zeros(32,32);
Z26(1:9,1:32)=Z26C(1:9,1:32);
Z26(11:32,1:32)=Z26C(10:31,1:32);
gasolin=xlsread('gasolin'); % vetor linha com os coef. venda gasoalcool
Z26(10,:)=Xgasoalcool*gasolin;
for j=1:29
    if(Z26(10,j)>Z26(25,j))
        Z26(10,j)=Z26(25,j);
    end
end
% estamos pulando a variação de estoques, que pode ser negativa

```

```

for j=31:32
    if(Z26(10,j)>Z26(25,j))
        Z26(10,j)=Z26(25,j);
    end
end
Z26(25,:)=Z26(25,:)-Z26(10,:);
% Aplicando o RAS para equilibrar a matriz Z26;
X26T=zeros(1,26);
X26T(1:9)=X25T(1:9);
X26T(10)=Xgasoolcool;
X26T(11:26)=X25T(10:25);
X26T(25)=X26T(25)-X26T(10);
X26=X26T';
wk1write('X26',X26);
for k=1:100
    linha=sum(Z26(1:31,1:26));
    linha=X26T./linha;
    Z26(1:31,1:26)=Z26(1:31,1:26)*(diag(linha));
    coluna=sum(Z26(1:26,:))';
    coluna=X26./coluna;
    Z26(1:26,:)=(diag(coluna))*Z26(1:26,:);
end
wk1write('Z26',Z26);
Y26=sum(Z26(1:26,27:32))';
% Construcao da matriz com 27 setores sem a cogeraçao (Z027; Geb=0)
Z027=zeros(33,33);
Z027(1:2,1:2)=Z26(1:2,1:2);
Z027(1:2,4:33)=Z26(1:2,3:32);
Z027(4:33,1:2)=Z26(3:32,1:2);
Z027(4:33,4:33)=Z26(3:32,3:32);
wk1write('Z027',Z027);
% Vetor de producao dos setores sem a cogeraçao
X027T=sum(Z027(1:32,1:27));
X027=X027T';
% Vetor da demanda final dos setores sem a cogeraçao
Y027=sum(Z027(1:27,28:33))';
% Calculo da matriz de coeficientes tecnicos diretos
A027=zeros(33,27);

```

```

for j=1:27
    aux=X027(j);
    if aux>0
        for i=1:33
            A027(i,j)=Z027(i,j)/aux;
        end
    end
end
wk1write('A027',A027);
% Coeficientes tecnicos diretos de emprego (AL027)
AL027=A027(33,:);
wk1write('AL027',AL027);
% Coeficientes tecnicos diretos do PIB (AVA027)
AVA027=sum(A027(29:32,:));
wk1write('AVA027',AVA027);
% Calculo da inversa de Leontief sem a cogeraçao
B027=inv(eye(27)-A027(1:27,1:27));
wk1write('B027',B027);
% Obtendo o fechamento do modelo
MN=zeros(32,51); % esta matriz corresponde a todas as variaveis no primeiro membro,
% e o segundo membro como sendo o vetor nulo com 26 posicoes, ou seja,
% corresponde a equacao  $AX + Y - X = 0$ , isto e,  $(A-I)X + Y = 0$ 
% Construindo a primeira linha, referente a produçao paralela de
% eletricidade
for j=1:3
    MN(1,j)=1;
end
MN(1,4)=-1;
% Construindo a segunda linha, referente a cogeraçao (Geb)
MN(2,3)=1;
MN(2,6)=-alfa6;
MN(2,7)=-alfa7;
% contruindo a parcela referente a AX
MN(3:32,1:2)=A027(4:33,1:2);
MN(3:32,5:27)=A027(4:33,5:27);
% construindo a parcela referente a -X
MN(3:26,4:27)=MN(3:26,4:27)-eye(24);
% construindo a parcela referente a Y
MN(3:26,28:51)=MN(3:26,28:51)+eye(24);

```

```

wk1write('MN',MN);
% Obtendo as matrizes M e N para o fechamento
% as variaveis 1 a 27 correspondem a X1 a X27
% as variaveis 28 a 51 correspondem a Y4 a Y27
% definindo a matriz N (variaveis exogenas)
MatrizExogena=xlsread('MatrizExogena'); % o vetor exogena define quais, das 51 variaveis,
% serao exogenas; no total sao 25 variaveis exogenas
N=zeros(26,25);
j=0;
for i=1:51
    if (MatrizExogena(i,2)==1)
        j=j+1;
        N(:,j)=-MN(1:26,i);
    end
end
wk1write('N',N);
% definindo a matriz M (variaveis endogenas)
% o vetor endogena define quais, das 51 variaveis, serao endogenas;
% no total sao 26 variaveis endogenas.
% Evidentemene, as variaveis que nao sao exogenas serao as endogenas.
% Entao, basta definir as variaveis exogenas somente.
Endogena=ones(51,1)-MatrizExogena(:,2);
M=zeros(26,26);
j=0;
for i=1:51
    if (Endogena(i)==1)
        j=j+1;
        M(:,j)=MN(1:26,i);
    end
end
wk1write('M',M);
cond(M)
T=inv(M)*N;
wk1write('T',T);
% Realizando o choque
ValoresBasicos=xlsread('ValoresBasicos');
ValoresExogenos=zeros(25,1);

```

```

j=0;
for i=1:51
    if(MatrizExogena(i,2)==1)
        j=j+1;
        ValoresExogenos(j)=ValoresBasicos(i)*(1+MatrizExogena(i,1));
    end
end
ValoresEndogenos=T*ValoresExogenos;
% Fazendo a saída dos valores finais das variáveis exógenas e endógenas
j=0; % controle das variáveis exógenas
k=0; % controle das variáveis endógenas
for i=1:51
    if (MatrizExogena(i,2)==1)
        j=j+1;
        ValoresFinais(i)=ValoresExogenos(j);
    else
        k=k+1;
        ValoresFinais(i)=ValoresEndogenos(k);
    end
end
ValoresFinais=ValoresFinais';
wk1write('ValoresFinais',ValoresFinais);
% Cálculo dos multiplicadores, índices de ligação e campo de influência
Z27=xlsread('Z27');
X27=sum(Z27(1:32,1:27));
A27=Z27(1:33,1:27)*inv(diag(X27));
B27=inv(eye(27)-A27(1:27,1:27));
% Multiplicadores de produção modelo convencional (MprodC)
MprodC=(sum(B27)-B27(4,:)); % estamos subtraindo a Get para não fazermos dupla contagem
wk1write('MprodC',MprodC);
% Multiplicadores de produção modelo adaptado (MprodA)
ValoresExogenos=zeros(25,1);
for i=2:25 % estamos fixando o Resto da geração de eletricidade em zero
    ValoresExogenos(i)=1;
    ValoresEndogenos=T*ValoresExogenos;
    MprodA(i-1)=sum(ValoresEndogenos)-ValoresEndogenos(3)+ValoresExogenos(1);
    ValoresExogenos(i)=0;
end
wk1write('MprodA',MprodA);

```

```

% Multiplicadores de emprego modelo convencional (MLC)
AL27=A27(33,:);
AL27(4)=sum(Z27(33,1:3))/X27(4);
ALbarra=zeros(1,27);
ALbarra(1:3)=AL27(1:3);
ALbarra(5:27)=AL27(5:27);
MLC=ALbarra*B27*inv(diag(AL27));
wk1write('MLC',MLC);
% Multiplicadores de emprego modelo adaptado (MLA)
ValoresExogenos=zeros(25,1);
for i=2:25 % estamos fixando o Resto da geração de eletricidade em zero
    ValoresExogenos(i)=1/AL27(i+2);
    ValoresEndogenos=T*ValoresExogenos;
    MLA(i-1)=sum(diag(AL27(2:27))*ValoresEndogenos)-ValoresEndogenos(3)*AL27(4);
    ValoresExogenos(i)=0;
end
wk1write('MLA',MLA);
% Multiplicadores do PIB modelo convencional (MVAc)
iilY=sum(Z27(29,28:33))/sum(sum(Z27(1:27,28:33)));
AVA27=sum(Z27(29:32,1:27))*inv(diag(X27));
AVA27(4)=sum(sum(Z27(29:32,1:3)))/X27(4);
AVAbarra=zeros(1,27);
AVAbarra(1:3)=AVA27(1:3);
AVAbarra(5:27)=AVA27(5:27);
for j=1:27
    AVAestrela(j)=AVA27(j)+iilY;
end
MVAc=AVAbarra*B27*inv(diag(AVA27));
wk1write('MVAc',MVAc);
% Multiplicadores do PIB modelo adaptado (MVAa)
ValoresExogenos=zeros(25,1);
for i=2:25 % estamos fixando o Resto da geração de eletricidade em zero
    ValoresExogenos(i)=1/AVA27(i+2);
    ValoresEndogenos=T*ValoresExogenos;
    MVAa(i-1)=sum(diag(AVA27(2:27))*ValoresEndogenos)-ValoresEndogenos(3)*AVA27(4);
    ValoresExogenos(i)=0;
end
wk1write('MVAa',MVAa);
% Calculo dos indices de ligação de Rasmussen-Hirschmann
b27adaptado=(sum(sum(B27(:,1:3)))-sum(B27(4,1:3))+sum(sum(B27(:,5:27)))-sum(B27(4,5:27)))/26/26;

```



```

ILRHt=zeros(27,1);
for j=1:27
    ILRHt(j)=(sum(B27(:,j))-B27(4,j))/26/b27adaptado;
end
wk1write('ILRHt',ILRHt);
ILRHf=zeros(27,1);
for i=1:27
    ILRHf(i)=(sum(B27(i,:))-B27(i,4))/26/b27adaptado;
end
wk1write('ILRHf',ILRHf);
% Matriz campo de influencia (MCI)
epsulon=0.000000001;
E=zeros(27,27);
for i=1:27
    for j=1:27
        E(i,j)=epsulon;
        BE=inv(eye(27)-A27(1:27,1:27)-E);
        CI=1/epsulon*(BE-B27);
        MCI(i,j)=norm(CI,'fro')^2-norm(CI(4,:), 'fro')^2;
        E(i,j)=0;
    end
end
wk1write('MCI',MCI);
toc

```